

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA CIVIL



**“ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS
DE HORMIGONES DE $F'_c=240 \text{ kg/cm}^2$ Y $F'_c=280 \text{ kg/cm}^2$ ADICIONANDO
POLÍMEROS (RESIDUOS DE TAPAS PLÁSTICAS TRITURADAS)
UTILIZANDO CEMENTO SELVALEGRE Y ÁRIDOS DE LA MINA DE
PINTAG”**

AUTORES:

CARLOS ISAAC GUALLE QUISAGUANO

DEBBIE ROMINA GUAYASAMIN AMAGUA

TRABAJO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL

DIRECTOR: ING. WILSON CANDO

QUITO, AGOSTO 2022.

DEDICATORIA

A mi madre, Verónica Gualle por ser mi guía en la vida y apoyo incondicional en cumplir mis objetivos, a mi hermana Camila Guerrero por estar a mi lado y motivarme en todo momento.

A mis abuelos Isaac y Bertha por su sabiduría, a mis tíos Caroline, Erick y en especial a Kurt por brindarme siempre su ayuda y cariño, a mis primos y demás familia.

A mis amigos quienes conocí a lo largo de la carrera principalmente a Andrés y John, ahora colegas, con quienes compartimos aulas desde el primer día, a mi perrita Aira y a todos quienes hicieron posible llegar a esta meta.

Carlos Gualle.

Primero a Dios, a mis padres y a mi hermano porque han sido siempre mi guía y mi bastón para recorrer este camino.

A la vida por permitirme compartir este triunfo a su lado, por todo su esfuerzo y trabajo arduo para brindarme la oportunidad de formarme en esta linda profesión.

A cada miembro de mi familia por contar siempre con su apoyo en cada escalón de mi vida y sentirse orgullosos desde el inicio.

Debbie Guayasamin.

AGRADECIMIENTO

A Dios y a toda mi familia que en su momento supieron apoyarme y brindarme un consejo.

A todos los ingenieros docentes de la escuela de Ingeniería Civil en la PUCE por sus enseñanzas consejos y valores, especialmente a mi tutor el Ing. Wilson Cando quien nos brindó sus conocimientos a lo largo de la carrera y en este proyecto final para la culminación de esta.

A mis lectores, Ing. Mauricio Cely e Ing. Diego Cajas por su enseñanza en clases y asesoramiento en esta etapa final.

A Sarahí, por apoyarme personal y académicamente en el transcurso de la carrera.

A mis demás amigos Anita, Luis y Ale con quienes compartimos gran parte de la carrera.

A mi amiga y compañera en este camino de titulación, Debbie Guayasamín.

Carlos Gualle.

A cada uno de mis compañeros que han hecho de este viaje más ameno.

A nuestro director Ing. Wilson Cando por convertirse en más que un docente, en un amigo. A nuestros lectores, Ing. Diego Cajas por ser un docente que busca siempre el bienestar

de sus alumnos e Ing. Mauricio Cely por sus conocimientos impartidos en clase.

Y a mi compañero de batalla, ahora Ing. Carlos Gualle.

Debbie Guayasamin.

ÍNDICE

1	CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN	1
1.1	Justificación.....	1
1.2	Planteamiento del problema	2
1.3	Objetivos	3
1.3.1	Objetivo General.....	3
1.3.2	Objetivos Específicos	3
1.4	Alcance.....	3
1.5	Hipótesis.....	4
1.6	Antecedentes.....	4
1.7	Marco Conceptual.....	5
1.7.1	Escama de plástico reciclado.....	5
1.8	Metodología	6
2	CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	8
2.1	Residuos inorgánicos	8
2.2	Polímero.....	10
2.2.1	Polipropileno	10
2.2.1.1	Propiedades mecánicas del polipropileno.	11
2.2.1.2	Diferencias entre polipropileno y polietileno.....	11
2.3	Reciclaje de polímeros	12
2.4	Proceso de trituración de polímero.	13
3	CAPÍTULO III: CARACTERIZACIÓN DE MATERIALES Y ENSAYOS SOBRE MATERIAL PETREO Y HORMIGÓN.....	14

3.1	Material Pétreo.....	14
3.2	Descripción y origen	14
3.3	Agregado grueso.....	15
3.4	Agregado fino	16
3.5	Caracterización de los agregados	16
	3.5.1 Contenido de Humedad	16
	3.5.1.1 Granulometría.....	16
	3.5.2 Material Natural que pasa el Tamiz N° 200	17
	3.5.3 Gravedad específica y absorción de los agregados	17
	3.5.4 Peso Unitario y porcentaje de vacíos.....	18
	3.5.5 Equivalente de arena	18
	3.5.6 Contenido Orgánico.....	18
	3.5.7 Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la degradación del agregado grueso de tamaño pequeño por abrasión e impacto de la máquina de los ángeles.....	19
	3.5.8 Desgaste de los agregados a los Sulfatos	19
3.6	Cementos.....	20
	3.6.1 Cemento Portland Puzolánico - Tipo IP.....	20
	3.6.2 Determinación de la densidad del cemento	22
4	CAPITULO IV: MEZCLAS DE HORMIGONES.....	23
	4.1 Dosificación Método ACI 211.1 (Modificado).....	23
	4.2 Diseño para dosificación de hormigones por el Método ACI 211.1	23
	4.2.1 Asentamiento.....	23

4.2.2	Agua Neta	24
4.2.3	Porcentaje de Seguridad.....	25
4.2.4	Relación agua/ cemento (por resistencia F_{cr}).....	25
4.2.5	Contenido de cemento.....	26
4.2.6	Cálculo de agregados en estado saturado con superficie seca (S.S.S)	26
4.2.7	Cantidad de agregado fino y grueso, en SSS.	27
4.2.8	Cantidad de agregados en estado natural.....	28
4.2.9	Agua de mezcla.....	29
4.2.10	Dosificación y restimación.....	29
4.3	Dosificación de muestras patrón de hormigón $f'c$ esperado = 240 kg/cm ² y $f'c$ esperado = 280 kg/cm ²	30
4.4	Fabricación de mezclas de hormigón añadiendo diferentes porcentajes del polímero (Tapas plásticas trituradas).	31
4.5	Ensayos de compresión simple en cilindros de hormigón (ASTM C 39)	33
4.6	Tracción por flexión de viguetas (ASTM C 78).....	34
4.7	Módulo de Elasticidad (ASTM C 469).....	35
5	CAPITULO V: CÁLCULOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS	37
5.1	Ensayos en áridos.....	37
5.1.1	Contenido de Humedad	37
5.1.1.1	Contenido de Humedad – Agregado Fino.....	37
5.1.1.2	Contenido de Humedad – Agregado Grueso 1”.....	37
5.1.1.3	Contenido de Humedad – Agregado Grueso ¾”.....	38
5.1.2	Granulometría (NTE INEN 696).....	38

5.1.3	Material Natural que pasa el Tamiz N° 200 (NTE INEN 697)	40
5.1.4	Gravedad Específica y absorción de los agregados (NTE INEN 856 / 857)	41
5.1.5	Peso unitario de agregados y porcentaje de vacíos (NTE INEN 858)	42
5.1.6	Equivalente de Arena (ASTM D 2419)	42
5.1.7	Contenido Orgánico (NTE INEN 855)	43
5.1.8	Abrasión (NTE INEN 860)	43
5.1.9	Desgaste de los agregados a los Sulfatos (NTE INEN 863)	44
	5.1.9.1 Desgaste – Agregado Fino	44
	5.1.9.2 Desgaste - Agregado Grueso.....	44
5.2	Ensayos de cemento	45
5.2.1	Densidad (NTE INEN 156)	45
5.3	Ensayos de Hormigón en estado endurecido	46
5.3.1	Resistencia a la compresión (ASTM C 39)	46
	5.3.1.1 Muestra sin modificar $f'c= 240 \text{ Kg/cm}^2$ (28 días de edad)	46
	5.3.1.2 Muestra modificada con escamas 3% $f'c= 240 \text{ Kg/cm}^2$ (28 días de edad)	47
	5.3.1.3 Muestra modificada con escamas 5% $f'c=240 \text{ Kg/cm}^2$ (28 días de edad)	48
	5.3.1.4 Muestra modificada con escamas 7% $f'c=240 \text{ Kg/cm}^2$ (28 días de edad)	49
	5.3.1.5 Muestra sin modificar $f'c=280 \text{ Kg/cm}^2$ (28 días de edad)	50

5.3.1.6	Muestra modificada con escamas 3% $f'c=280$ Kg/cm ² (28 días de edad)	51
5.3.1.7	Muestra modificada con escamas 5% $f'c=280$ Kg/cm ² (28 días de edad)	52
5.3.1.8	Muestra modificada con escamas 7% $f'c=280$ Kg/cm ² (28 días de edad)	53
5.3.1.9	Resumen resistencia a la compresión de cilindros	54
5.3.2	Resistencia a la flexión de viguetas (ASTM C 78).....	57
5.3.2.1	Muestra sin modificar $f'c= 240$ Kg/cm ² (28 días de edad)	57
5.3.2.2	Muestra modificada con escamas 3% $f'c= 240$ Kg/cm ² (28 días de edad)	58
5.3.2.3	Muestra modificada con escamas 5% $f'c=240$ Kg/cm ² (28 días de edad)	59
5.3.2.4	Muestra modificada con escamas 7% $f'c=240$ Kg/cm ² (28 días de edad)	60
5.3.2.5	Muestra sin modificar $f'c=280$ Kg/cm ² (28 días de edad)	61
5.3.2.6	Muestra modificada con escamas 3% $f'c=280$ Kg/cm ² (28 días de edad)	62
5.3.2.7	Muestra modificada con escamas 5% $f'c=280$ Kg/cm ² (28 días de edad)	63
5.3.2.8	Muestra modificada con escamas 7% $f'c=280$ Kg/cm ² (28 días de edad)	64
5.3.2.9	Resumen resistencia a la flexión de viguetas	65

5.3.3	Módulo de elasticidad (ASTM C 469)	68
5.3.3.1	Muestra sin modificar $f'c= 240$ Kg/cm ² (28 días de edad)	68
5.3.3.2	Muestra modificada con escamas 3% $f'c= 240$ Kg/cm ² (28 días de edad) 70	
5.3.3.3	Muestra modificada con escamas 5% $f'c=240$ Kg/cm ² (28 días de edad) 72	
5.3.3.4	Muestra modificada con escamas 7% $f'c=240$ Kg/cm ² (28 días de edad) 74	
5.3.3.5	Muestra sin modificar $f'c=280$ Kg/cm ² (28 días de edad)	76
5.3.3.6	Muestra modificada con escamas 3% $f'c=280$ Kg/cm ² (28 días de edad) 78	
5.3.3.7	Muestra modificada con escamas 5% $f'c=280$ Kg/cm ² (28 días de edad) 80	
5.3.3.8	Muestra modificada con escamas 7% $f'c=280$ Kg/cm ² (28 días de edad) 82	
5.3.3.9	Resumen comparativo módulo de elasticidad	84
6	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	88
6.1	Conclusiones	88
6.2	Recomendaciones	92
7	BIBLIOGRAFÍA	94
8	ANEXOS	97

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1 Porcentaje de agregado y polímero a reemplazar.....	6
Tabla 2-1 Diferencias entre polipropileno y polietileno	11
Tabla 4-1. Revenimiento “r” recomendado para varios tipos de construcción.....	23
Tabla 4-2 Requisitos Aproximados de Agua de Mezcla y contenido de Aire para diferentes Revenimientos o Tamaños Máximos nominales de Agregado.....	24
Tabla 4-3 (Métrica) Dependencia entre la Relación Agua-Material Cementante y la Resistencia a Compresión del Concreto	25
Tabla 4-4 Dosificación f'c esperado= 240 kg/cm ²	30
Tabla 4-5 Dosificación f'c esperado= 280 kg/cm ²	30
Tabla 4-6 Dosificación f'c esperado= 240 kg/cm ² - 3% TPR	31
Tabla 4-7 Dosificación f'c esperado= 280 kg/cm ² - 3% TPR	31
Tabla 4-8 Dosificación f'c esperado= 240 kg/cm ² - 5% TPR	32
Tabla 4-9 Dosificación f'c esperado= 280 kg/cm ² - 5% TPR	32
Tabla 4-10 Dosificación f'c esperado= 280 kg/cm ² -7% TPR	32
Tabla 5-1 Contenido de Humedad - Fino	37
Tabla 5-2 Contenido de Humedad – 1”	37
Tabla 5-3 Contenido de Humedad - ¾”	38
Tabla 5-4 Granulometría - Agregado Fino	38
Tabla 5-5 Granulometría - Agregado Grueso	39
Tabla 5-6 Material Natural que pasa el Tamiz N° 200	41
Tabla 5-7 Gravedad Específica y absorción Agregado fino	41
Tabla 5-8 Gravedad Específica y absorción del Agregado Grueso 1”	41

Tabla 5-9 Gravedad Específica y absorción del Agregado grueso 3/4"	42
Tabla 5-10 Peso Unitario de Agregados	42
Tabla 5-11 Equivalente de Arena	43
Tabla 5-12 Contenido Orgánico.....	43
Tabla 5-13 Desgaste del agregado grueso en Maquina de los Ángeles	43
Tabla 5-14 Desgaste – Agregado Fino.....	44
Tabla 5-15 Desgaste - Agregado Grueso	44
Tabla 5-16 Densidad del cemento.....	45
Tabla 5-17 Muestra sin modificar $f'c= 240 \text{ Kg/cm}^2$ (28 días de edad).....	46
Tabla 5-18 Muestra modificada con escamas 3% $f'c= 240 \text{ Kg/cm}^2$ (28 días de edad)..	47
Tabla 5-19 Muestra modificada con escamas 5% $f'c=240 \text{ Kg/cm}^2$ (28 días de edad)...	48
Tabla 5-20 Muestra modificada con escamas 7% $f'c=240 \text{ Kg/cm}^2$ (28 días de edad)...	49
Tabla 5-21 Muestra sin modificar $f'c=280 \text{ Kg/cm}^2$ (28 días de edad).....	50
Tabla 5-22 Muestra modificada con escamas 3% $f'c=280 \text{ Kg/cm}^2$ (28 días de edad)...	51
Tabla 5-23 Muestra modificada con escamas 5% $f'c=280 \text{ Kg/cm}^2$ (28 días de edad)...	52
Tabla 5-24 Muestra modificada con escamas 7% $f'c=280 \text{ Kg/cm}^2$ (28 días de edad)...	53
Tabla 5-25 Muestra sin modificar $f'c= 240 \text{ Kg/cm}^2$ (28 días de edad).....	57
Tabla 5-26 Muestra modificada con escamas 3% $f'c= 240 \text{ Kg/cm}^2$ (28 días de edad)..	58
Tabla 5-27 Muestra modificada con escamas 5% $f'c=240 \text{ Kg/cm}^2$ (28 días de edad)...	59
Tabla 5-28 Muestra modificada con escamas 7% $f'c=240 \text{ Kg/cm}^2$ (28 días de edad)...	60
Tabla 5-29 Muestra sin modificar $f'c=280 \text{ Kg/cm}^2$ (28 días de edad).....	61
Tabla 5-30 Muestra modificada con escamas 3% $f'c=280 \text{ Kg/cm}^2$ (28 días de edad)...	62
Tabla 5-31 Muestra modificada con escamas 5% $f'c=280 \text{ Kg/cm}^2$ (28 días de edad)...	63

Tabla 5-32 Muestra modificada con escamas 7% $f'c=280 \text{ Kg/cm}^2$ (28 días de edad)...	64
Tabla 5-33 Relación de flexión respecto a compresión	67
Tabla 5-34 Muestra sin modificar $f'c= 240 \text{ Kg/cm}^2$ (28 días de edad).....	68
Tabla 5-35 Resultado módulo de elasticidad $f'c=240 \text{ Kg/cm}^2$ (0%)	69
Tabla 5-36 Muestra modificada con escamas 3% $f'c= 240 \text{ Kg/cm}^2$ (28 días de edad)..	70
Tabla 5-37 Resultado módulo de elasticidad $f'c=240 \text{ Kg/cm}^2$ (3%)	71
Tabla 5-38 Muestra modificada con escamas 5% $f'c=240 \text{ Kg/cm}^2$ (28 días de edad)...	72
Tabla 5-39 Resultado módulo de elasticidad $f'c=240 \text{ Kg/cm}^2$ (5%)	73
Tabla 5-40 Muestra modificada con escamas 7% $f'c=240 \text{ Kg/cm}^2$ (28 días de edad)...	74
Tabla 5-41 Resultado módulo de elasticidad $f'c=240 \text{ Kg/cm}^2$ (7%)	75
Tabla 5-42 Muestra sin modificar $f'c=280 \text{ Kg/cm}^2$ (28 días de edad).....	76
Tabla 5-43 Resultado módulo de elasticidad $f'c=280 \text{ Kg/cm}^2$ (0%)	77
Tabla 5-44 Muestra modificada con escamas 3% $f'c=280 \text{ Kg/cm}^2$ (28 días de edad)...	78
Tabla 5-45 Resultado módulo de elasticidad $f'c=280 \text{ Kg/cm}^2$ (3%)	79
Tabla 5-46 Muestra modificada con escamas 5% $f'c=280 \text{ Kg/cm}^2$ (28 días de edad)...	80
Tabla 5-47 Resultado módulo de elasticidad $f'c=280 \text{ Kg/cm}^2$ (5%)	81
Tabla 5-48 Muestra modificada con escamas 7% $f'c=280 \text{ Kg/cm}^2$ (28 días de edad)...	82
Tabla 5-49 Resultado módulo de elasticidad $f'c=280 \text{ Kg/cm}^2$ (7%)	83
Tabla 5-50 Resumen comparativo módulo de elasticidad $f'c= 240 \text{ kg/cm}^2$	86
Tabla 5-51 Resumen comparativo módulo de elasticidad $f'c= 280 \text{ kg/cm}^2$	87
Tabla 6-1 Resumen de ensayo agregado fino	88
Tabla 6-2 Resumen de ensayo agregado grueso	89
Tabla 6-3 Resumen comparativo módulo de elasticidad	92

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 2-1 Porcentaje de clasificación de plástico	9
Ilustración 2-2. Disposiciones finales de plástico.....	10
Ilustración 2-3 Basura plástica rígida por regiones.....	12
Ilustración 2-4 Proceso de trituración de polímero.....	13
Ilustración 3-1 Mina Piedra Roja- Pintag	15
Ilustración 3-2 Requisitos químicos normalizados para el cemento portland IP	21
Ilustración 3-3 Requisitos físicos normalizados para el cemento portland IP	21
Ilustración 4-1 Modelos típicos de fractura	33
Ilustración 4-2 Longitud de aplicación de carga.....	34
Ilustración 5-1 Curva Granulométrica Agregado Fino	39
Ilustración 5-2 Curva Granulométrica Agregado Grueso	40
Ilustración 5-3 Esfuerzo a la compresión 240 Kg/cm ² (esperado).....	54
Ilustración 5-4 Cambio de densidad por adición de escamas 240 Kg/cm ²	54
Ilustración 5-5 Esfuerzo a la compresión 280 Kg/cm ² (esperado).....	55
Ilustración 5-6 Cambio de densidad por adición de escamas 280 Kg/cm ²	55
Ilustración 5-7 Esfuerzo a compresión 240 kg/cm ² (esperado, %)	56
Ilustración 5-8 Esfuerzo a compresión 280 kg/cm ² (esperado, %)	56
Ilustración 5-9 Resistencia a flexión 240 Kg/cm ² (esperado)	65
Ilustración 5-10 Resistencia a flexión 280 Kg/cm ² (esperado)	65
Ilustración 5-11 Esfuerzo a flexión 240 kg/cm ² (esperado, %).....	66
Ilustración 5-12 Esfuerzo a flexión 280 kg/cm ² (esperado, %).....	66
Ilustración 5-13 Esfuerzo-Deformación unitaria f _c =240 Kg/cm ² (0%)	69

Ilustración 5-14 Esfuerzo-Deformación unitaria $f'_c=240 \text{ Kg/cm}^2$ (3%)	71
Ilustración 5-15 Esfuerzo-Deformación unitaria $f'_c=240 \text{ Kg/cm}^2$ (5%)	73
Ilustración 5-16 Esfuerzo-Deformación unitaria $f'_c=240 \text{ Kg/cm}^2$ (7%)	75
Ilustración 5-17 Esfuerzo-Deformación unitaria $f'_c=280 \text{ Kg/cm}^2$ (0%)	77
Ilustración 5-18 Esfuerzo-Deformación unitaria $f'_c=280 \text{ Kg/cm}^2$ (3%)	79
Ilustración 5-19 Esfuerzo-Deformación unitaria $f'_c=280 \text{ Kg/cm}^2$ (5%)	81
Ilustración 5-20 Esfuerzo-Deformación unitaria $f'_c=280 \text{ Kg/cm}^2$ (7%)	83
Ilustración 5-21 Resumen comparativo - Esfuerzo vs Deformación $f'_c=240 \text{ Kg/cm}^2$..	84
Ilustración 5-22 Resumen comparativo - Esfuerzo vs Deformación $f'_c=280 \text{ Kg/cm}^2$..	85
Ilustración 5-23 Módulo de elasticidad 240 Kg/cm^2	86
Ilustración 5-24 Módulo de elasticidad 280 Kg/cm^2	87

RESUMEN

La presente investigación, “Análisis del comportamiento de las propiedades mecánicas de hormigones de $f'c=240 \text{ kg/cm}^2$ y $f'c=280 \text{ kg/cm}^2$ adicionando polímeros (residuos de tapas plásticas trituradas) utilizando cemento selvalegre y áridos de la mina de Pintag”, amplía el campo de uso de plástico reciclado en el área de hormigones. En este caso, la escama utilizada fue obtenida de tapas plásticas de envases que han sido reciclados y triturados por la empresa Recypet, estas fueron incorporadas en el diseño de mezclas de hormigones esperados $f'c = 240 \text{ kg/cm}^2$ y $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$. Por otro lado, los agregados pétreos utilizados en esta investigación fueron obtenidos de la mina Piedra Roja ubicada en la Parroquia de Pintag, también, el cemento tipo GU considerado proviene de la empresa Selvalegre. Los ensayos de caracterización y limitación de los agregados pétreos a tenerse en cuenta fueron realizados mediante la normativa American Society for Testing Materials (ASTM) y para esto hicimos uso de las instalaciones de la empresa Geosoil-Quito. La metodología que utilizamos para el diseño de las mezclas de hormigón esperadas se basa en la ACI comité 211, teniendo en cuenta que esta presenta modificaciones para ser utilizada con materiales de la zona, por otro lado, para el diseño de mezclas con adición de polímero plástico reciclado se reemplazó el agregado fino por dicho material teniendo en cuenta su peso. Se realizaron probetas cilíndricas para ser ensayadas a las edades de 28 días, acompañadas de viguetas a las edades de 28 días para cada uno de los porcentajes de reemplazo, los ensayos que determinaron si existe cambio entre el comportamiento de las propiedades mecánicas de mezclas sin adición de polímero y mezclas con adición de polímero fueron: compresión simple de cilindros, módulo de elasticidad y flexión de viguetas. Dando como resultado que la adición de este polímero en bajo porcentaje en este caso 3% mejora la resistencia del hormigón.

ABSTRACT

The present investigation, "Analysis of the behavior of the mechanical properties of concrete of $f'c=240 \text{ kg/cm}^2$ and $f'c=280 \text{ kg/cm}^2$ adding polymers (residues of crushed plastic lids) using selvalegre cement and aggregates from the mine of Pintag", expands the field of use of recycled plastic in the area of concrete. In this case, the flake used was obtained from plastic container lids that have been recycled and crushed by the Recypet company, these were incorporated into the design of expected concrete mixtures $f'c = 240 \text{ kg/cm}^2$ and $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$. On the other hand, the stone aggregates used in this investigation were obtained from the Piedra Roja mine located in the Parish of Pintag, also, the GU type cement considered comes from the Selvalegre company. The characterization and limitation tests of the stone aggregates to be taken into account were carried out by means of the American Society for Testing Materials (ASTM) regulations and for this we used the facilities of the company Geosoil-Quito. The methodology that we use for the design of the expected concrete mixtures is based on the ACI committee 211, taking into account that this presents modifications to be used with materials from the area, on the other hand, for the design of mixtures with increased polymer recycled plastic fine aggregate was replaced by said material taking into account its weight. Cylindrical specimens were made to be tested at the ages of 28 days, accompanied by joists at the ages of 28 days for each of the replacement percentages, the tests that determined if there is a change between the behavior of the mechanical properties of mixtures without addition of polymer and mixtures with addition of polymer were: simple compression of cylinders, modulus of elasticity and bending of beams. Giving as a result that the addition of this polymer in a low percentage, in this case 3%, improves the resistance of the concrete.

1 CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

1.1 Justificación

La producción de desechos plásticos actualmente ha aumentado de manera significativa a nivel global, por lo que es necesario plantear posibles soluciones para reducir el impacto que estas generan en el medio ambiente, mediante la reutilización e incorporación de estos residuos en diversos campos, tales como la construcción.

Como lo señala Chávez, S. & Aulestia, S. (2017), en la actualidad este sector ha adquirido nuevas técnicas y métodos constructivos, que al pasar los años se han ido desarrollando a partir de estudios de expertos en distintos campos, con el objetivo de crear construcciones más seguras, económicas y de mínimo impacto en el lugar de implantación (p. 6). Por lo tanto, la utilización de polímeros en la mezcla de hormigón podría ser una técnica viable que satisfaga estas necesidades.

Por otro lado, si se analiza la situación de manejo y aprovechamiento de residuos, es fundamental manejar el material que ha sido reciclado y procesado, de una manera óptima con la cual se logre dar un fin específico y sea beneficioso tanto para el medio ambiente como para el sector de la construcción y la sociedad. Es decir, que se ganaría en varias formas, ya que se incentiva a la reutilización de residuos, y buscando realizar mejoras en materiales, procesos existentes o producción de nuevas materias primas.

En vista de lo mencionado anteriormente, hemos planteado este plan de disertación para la obtención del título de Ingeniero Civil, con el fin de aprovechar adecuadamente las tapas plásticas desechadas, mediante la incorporación de este material triturado en las mezclas de hormigón.

1.2 Planteamiento del problema

La sociedad y el mundo están en constante desarrollo, trayendo consigo resultados negativos como el calentamiento global, que afecta a la conservación de la humanidad por su crecimiento acelerado y anormal.

Por otro lado, la industria de la construcción presenta necesidades y disposiciones que engloban nuevas técnicas y materiales que faciliten la aplicación de estos al momento de efectuarlos.

Mehta, P. (2001), menciona que la producción mundial de hormigón por año es de 1.6 billones de toneladas, lo que representa alrededor del 8% de la carga global de dióxido de carbono que existe en la atmósfera. El hormigón ordinario contiene alrededor de 17% de cemento y 75% restante está compuesto de agregado por masa, lo que significa que a nivel mundial para hacer hormigón consume en un promedio de 10 a 11 billones de toneladas de agregados cada año (p. 2). Por lo tanto, la producción requiere de grandes procesos de extracción, procesamiento y transporte, lo que significa que las cantidades de consumo de energía son elevadas, existe una afectación al medio ambiente y los lechos de río.

A diferencia de la descomposición de productos orgánicos que tardan tres o cuatro semanas, las telas de algodón (material textil) cinco meses, el plástico puede demorar hasta 500 años. La degradación de estos plásticos simplemente genera partículas de plástico más pequeñas que, a pesar de ya no ser evidentes se acumulan en los ecosistemas generando toneladas de residuos.

Al ser necesario el encontrar nuevas alternativas de uso a los millones de envases de plástico que se usan y se desechan cada día para el consumo, se analizara cual es el comportamiento

que tiene una mezcla de hormigón con la adición de tapas plásticas trituradas con el fin de reutilizar este material e identificar las ventajas que se podrían obtener para su aplicación en la construcción.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

Comparar las propiedades mecánicas de hormigones originales $f'_c=240 \text{ kg/cm}^2$ y $f'_c=280 \text{ kg/cm}^2$ vs. las propiedades mecánicas de hormigones añadiendo polímeros (residuos de tapas plásticas trituradas) a diferentes porcentajes (3%, 5%, 7%) en reemplazo del material granular.

1.3.2 Objetivos Específicos

Establecer la dosificación óptima de los materiales para obtener un hormigón $f'_c=240 \text{ kg/cm}^2$ y $f'_c=280 \text{ kg/cm}^2$.

Establecer metodologías de mezclado y dosificación óptima de los materiales añadiendo residuos de tapas plásticas trituradas en los hormigones.

Identificar las ventajas y desventajas que se producirán a partir de la añadidura de tapas plásticas trituradas.

1.4 Alcance

La realización de esta disertación se llevará a cabo en la Ciudad de Quito, ya que los materiales que compondrán la mezcla de hormigón serán obtenidos de esta zona.

Los materiales como el agregado grueso y agregado fino a emplearse serán adquiridos en la Mina Piedra roja ubicada en la Parroquia de Pintag, en el sur de Quito. La partícula (escama) de las tapas de botellas plásticas recicladas serán proporcionadas por la empresa RECYPET CONTINENTAL by ENKADOR, ubicada en el sur- oriente de Quito, sector Sangolquí.

En el tiempo de duración de esta investigación se evaluó el comportamiento del hormigón con la añadidura de partículas de tapas plásticas recicladas mediante compresión simple, flexión y módulo de elasticidad a la edad de 28 días, en los cuales el porcentaje de añadidura de este material en la mezcla de resistencia $f'c=240 \text{ kg/cm}^2$ y $f'c=280 \text{ kg/cm}^2$ vario.

1.5 Hipótesis

Añadir en diferentes porcentajes residuos de polímeros (tapas plásticas trituradas), al 3%, 5%, 7%, reemplazando al material granular en dichos porcentajes, y comprobar si mejora la resistencia de los hormigones originales.

1.6 Antecedentes

Celi, M. (2013), en su Tesis “Análisis del sistema constrictivo con botellas recicladas PET, y su aplicación en el diseño de un centro de exposición y capacitación para la Planta de Reciclaje de la ciudad de Loja” menciona que la iniciativa de implementar botellas en la construcción nace en el año 1963 cuando Alfred Heineken, junto al arquitecto John Habraken, idearon un envase de vidrio WOBO “World bottle” capaz de trabajar como ladrillo. Aunque tuvo un periodo corto de uso, su importancia se da en la inspiración para considerar materiales desechados y darles un nuevo uso (p. 14). Si bien se inició utilizando botellas de vidrio a manera de reciclaje, en la actualidad este enfoque se direccionó en la utilización de botellas de plástico que ha sido utilizada en varios países para edificaciones con enfoque ecológico.

Rivas, M. (2019), hace referencia a la década de los 50, pues la producción de plástico aumentó de 2 millones a 380 billones de toneladas anuales. Un dato preocupante es que para los siguientes años la industria duplicará esta cifra, llegando a superar los 700 millones de toneladas de plásticos generadas en todo el mundo. Lastimosamente, el 9 % del material se recicla y el 12 % se incinera, con las complicaciones ambientales que esto conlleva. El 79 % del plástico producido

desde 1950 acabó en rellenos sanitarios, sin ningún tipo de valorización o recuperación (parr. 3). Esta acumulación de residuos producidos en todo el mundo, son arrojados a los océanos y ríos que afectan a la fauna acuática y algunas aves, por lo cual, es necesario cambiar la forma de producción y consumo dirigido a la reutilización de productos.

En la Pontificia Universidad Católica del Ecuador, en el área de construcción se llevó a cabo la investigación “Análisis de las características físico mecánicas del hormigón con la adición de polvo de neumático reciclado con cemento Holcim y mina de Pifo”, la misma que fue realizada por los estudiantes Quinapallo, L. & Checa, M. (2020), los cuales utilizaron distintos porcentajes polvo de neumático reciclado de la empresa Rubberaction, obteniendo como resultado una mejora en resistencia a compresión y módulo de elasticidad, pero con disminución en la resistencia a flexión con bajos porcentajes de PNR, a comparación de sus muestras patrón.

Debido a estos datos alarmantes hoy en día existen empresas dedicadas a procesar este material, siendo uno de ellos las tapas plásticas, como por ejemplo RECYPET CONTINENTAL by ENKADOR, que se dedica al acopio y reciclaje del mismo para brindarle un posterior uso.

Debido a los datos expuestos, esta investigación se centrará en el análisis y obtención de resultados con los materiales antes mencionados, esto lo llevaremos a cabo reemplazando un porcentaje de material fino (arena) por partículas (escamas) de tapas de botellas recicladas.

1.7 Marco Conceptual

1.7.1 Escama de plástico reciclado

La escama de plástico reciclado se consigue mediante un proceso mecánico que constituye varias etapas tales como: separación, limpieza y triturado o molido. Este material reciclado puede proporcionar mayor firmeza al ser mezclado con materiales como el hormigón, la arcilla, etc.

Como lo menciona Espinosa, R. (2019), es tan fuerte el impacto ambiental del plástico en el ecosistema, que su degradación lleva un centenar de años, en los cuales este contaminante puede liberar sustancias como el metano, y llegar a ser tan destructivo como el dióxido carbono (CO₂). Por lo tanto, la sociedad debe tomar conciencia de las acciones al arrojar plásticos al medio ambiente, ya que puede ser mortal para los seres vivos. Es indispensable tener conocimiento sobre las formas de reciclaje de acuerdo a la resina de origen.

1.8 Metodología

Para elaborar esta investigación se recolectará información bibliográfica sobre los materiales a emplearse, tanto de tapas de botellas plásticas, hormigón, al igual que las normas que se van a aplicar para el diseño de mezclas, elaboración de ensayos, y análisis de resultados de las mismas.

Inicialmente se fabricarán hormigones como muestra base, estos tendrán las resistencias correspondientes a 240 kg/cm² y 280 kg/cm², realizados de manera normal, es decir estas muestras iniciales no tendrán ninguna modificación de su material fino, para posteriormente realizar un análisis comparativo con las muestras que serán alteradas con el reemplazo en porcentajes diferentes de este agregado por tapas plásticas trituradas, siendo estos los indicados a continuación:

Tabla 1-1 Porcentaje de agregado y polímero a reemplazar

Mezcla	Agregados (%)	Tapas plásticas trituradas (%)
Base	100	0
1	97	3
2	95	5
3	93	7

Fuente: Propia

Es decir que por cada valor de resistencia vamos a tener 4 dosificaciones, por lo tanto, tendremos 8 dosificaciones diferentes y para cada una se van a realizar 10 muestras para los respectivos ensayos, siendo 6 cilindros y 4 viguetas, de manera que 6 cilindros se utilizaran para compresión simple a los 28 días, de los últimos se tomaran 2 para módulo de elasticidad, de igual manera se utilizarán las 4 viguetas mencionadas para flexión a los 28 días, este proceso se repetirá para cada dosificación teniendo un total de 80 muestras .

Finalmente se utilizarán los resultados correspondientes a las muestras alteradas con añadidura de tapas plásticas trituradas recicladas, para analizar y comparar sus características en base a las muestras no modificadas, las cuales no contienen ningún porcentaje de este material reciclado, e identificar diferencias, ventajas y desventajas.

2 CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1 Residuos inorgánicos

Como señala RD San Juan (2016), los residuos inorgánicos son aquellos desechos de origen no biológico, el cual puede ser industrial o de algún otro proceso no natural, que, al estar expuesto a condiciones ambientales naturales, tarde un gran tiempo en degradarse, por lo que, no vuelven a integrarse a la tierra, a no ser que pase un largo periodo de tiempo. Para decirlo en otras palabras, no son biodegradables (párr. 1).

Se conoce que casi la mitad de la basura está compuesta por materiales no fermentables llamados inorgánicos, los que en su gran mayoría son envases, embalajes o empaques. Alguno de los ejemplos de los residuos inorgánicos que podemos encontrar son: papel/cartón, plásticos, vidrios, textiles, chatarra y otros, como, por ejemplo, materiales tóxicos derivados de productos de limpieza, pilas, etc. Existe una ventaja aprovechable dentro de estos residuos inorgánicos y es que gran parte de estos materiales se pueden reciclar y recuperar, volviendo después a incluirse en la cadena productiva y de consumo, ahorrando energía y materias primas, además que esto va a contribuir a la calidad del ambiente (RD San Juan, 2016).

Adicionalmente estos residuos pueden encontrarse en cualquier estado físico, ya sea sólido, semisólido, líquido o gaseoso, factor clave para poderlo depositar en los distintos contenedores. Algunas clases de residuos inorgánicos pueden reintegrarse a la naturaleza, pero tras el paso de los años y con la liberación de sustancias contaminantes nocivas para la salud y para el medioambiente. Razón por la que muchos residuos inorgánicos están catalogados como residuos no biodegradables (SMV, 2019).

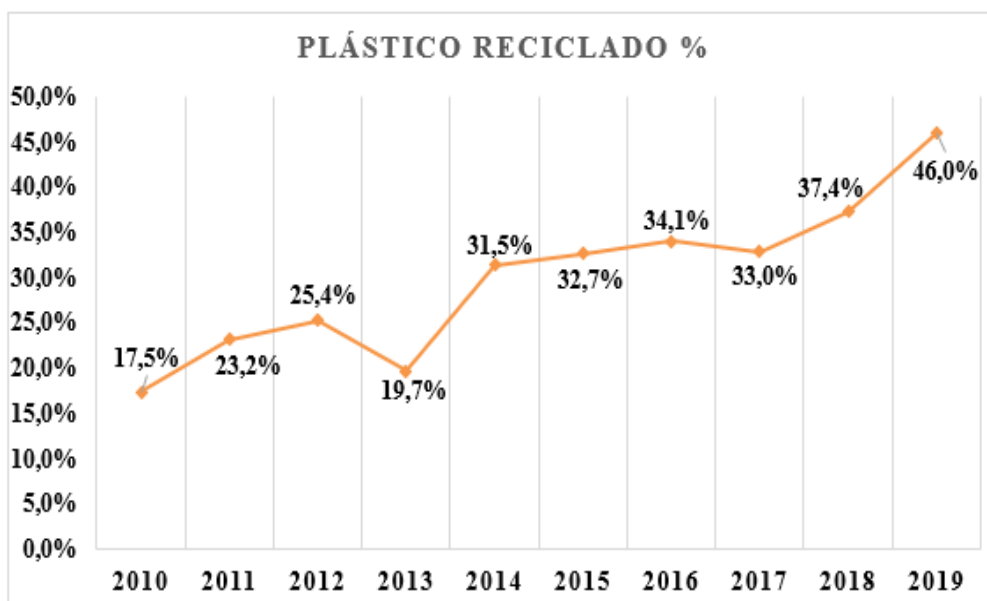
Entre uno de los residuos inorgánicos más identificables se encuentra el plástico, y con mayor potencial de reciclaje. En este caso, reutilizar es fundamental, ya que la gran mayoría de

estos residuos no se degradan. Los residuos plásticos conforman, aproximadamente, el 9% de los residuos que se producen (SMV, 2019).

Según, (INEC, 2019), a nivel nacional el 61.53% de hogares ecuatorianos clasifico sus residuos dependiendo del tipo, como por ejemplo vidrio, plástico, papel-cartón, etc., en comparación al año 2018 que solo se clasifico un 52.03%, esto quiere decir que solo 6 de 10 hogares tiene una educación de reciclaje (p. 8).

A continuación, se detalla el porcentaje de hogares ecuatorianos que clasifican el plástico, según el año transcurrido.

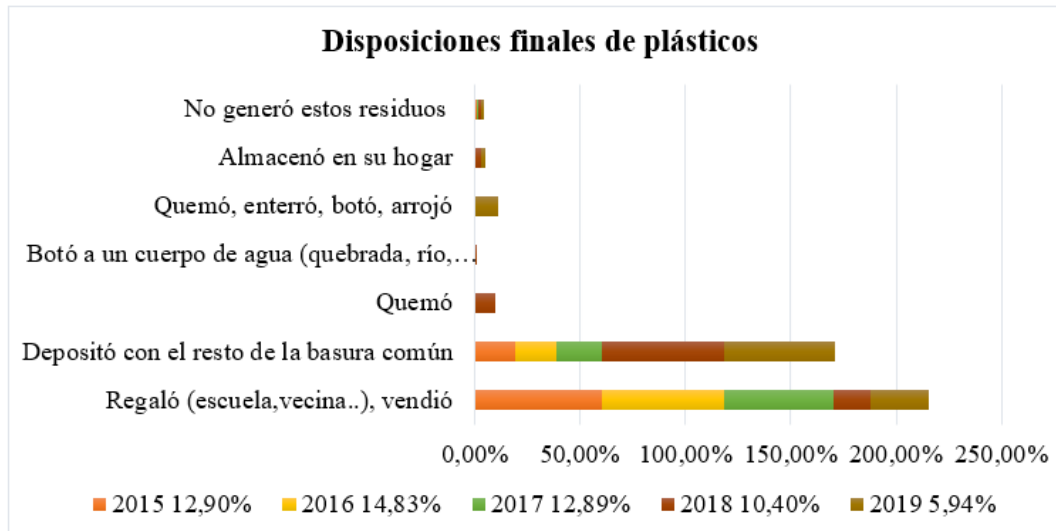
Ilustración 2-1 Porcentaje de clasificación de plástico



Fuente: INEC, 2019

Por otro lado, se presenta otras distintas disposiciones finales de plásticos no reciclados utilizados en el consumo.

Ilustración 2-2. Disposiciones finales de plástico



Fuente: INEC, 2019

2.2 Polímero

Hermida (2011), define a los polímeros como moléculas de gran tamaño formadas por monómeros, estos últimos, compuestos por átomos de carbono. Estas moléculas orgánicas son las que constituyen los materiales plásticos como también tejidos de seres vivos entre otros (p. 14).

2.2.1 Polipropileno

Según, Romero (2006), el polipropileno es un polímero termoplástico que forma parte de las poliolefinas. El uso de este material es bien aceptado ya que posee buenas propiedades mecánicas y al presentar átomos de carbono e hidrógeno no produce un impacto ambiental significativo como otros. Por otro lado, en comparación a otros materiales plásticos utilizados como el PVC y PE, presenta una mejor resistencia a altas temperaturas y estabilidad a la intemperie por su combinación aleatoria de propileno y etileno (p. 64).

SPG (2018), hace referencias que las tapas plásticas están hechas de polipropileno (plástico 5, PP), un material que trabaja bien a presión, presenta menos flexibilidad por lo que es más difícil que se rompa, a este se lo utiliza también en la industria automotriz, por otro lado, es un tipo de

plástico diferente al de las botellas el cual es un polietileno (plástico 4, LDPE) de baja densidad, más elástico y es perfecto en la utilización de envases de productos alimenticios como bolsas, papel film, etc. (párr. 2).

2.2.1.1 Propiedades mecánicas del polipropileno.

- Modulo elástico en tracción (GPa)
- Alargamiento de rotura en tracción (%)
- Carga de rotura en tracción (MPa)
- Módulo de flexibilidad (GPa)
- Resistencia al impacto (KJ/m²)
- Dureza Shore D

2.2.1.2 Diferencias entre polipropileno y polietileno.

Tabla 2-1 Diferencias entre polipropileno y polietileno

POLIPROPILENO	POLIETILENO
Resistencia química y térmica	
Altas temperaturas (140°C-170°C)	Altas temperaturas (105°C-115°C)
Bajas temperaturas, conserva sus condiciones a partir de 0°C	Bajas temperaturas, mantiene sus condiciones hasta los -80°C
Alta resistencia a ácidos abrasivos	Resistencia al desgaste
Flexibilidad	
Material menos flexible, posee mayor resistencia	Material elástico
Ligereza y color	
Más ligero, color blanco translúcido	Menos ligero, incoloro
Posibilidad de reciclaje	
Ambos son fáciles de reciclar ya que se trata de termoplásticos, ambos pueden tener un nuevo uso, sin embargo, el reciclaje de polietileno es más común.	

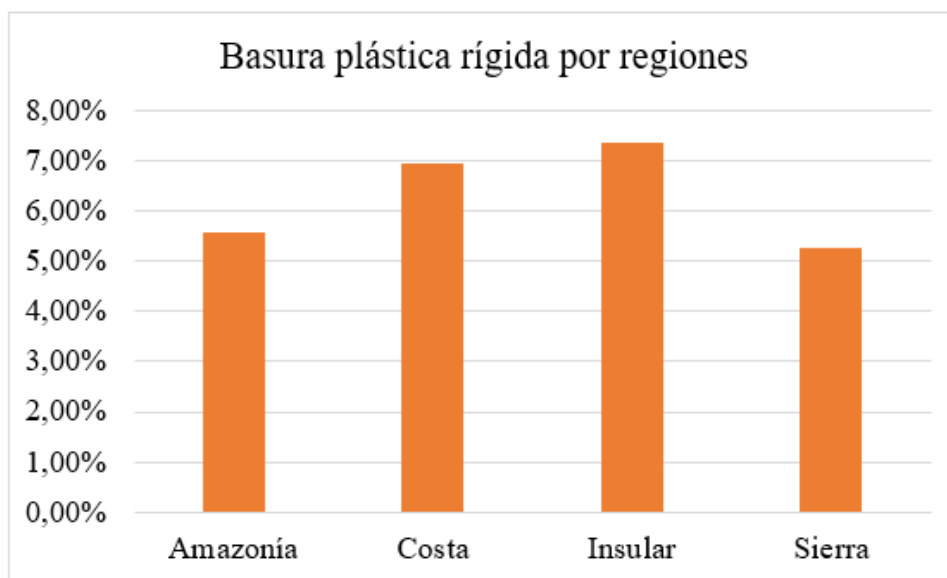
Fuente: SPGroup

2.3 Reciclaje de polímeros

En el caso de Ecuador, se considera al reciclaje como un sector prioritario en el cambio de la matriz productiva, por lo cual el 4 de noviembre del 2020, la Asamblea Nacional aprobó la ley para la regulación de plástico y de esta manera se pueda combatir un problema que se ha vuelto insostenible.

El Instituto Nacional de Estadísticas y Censos [INEC] (2019), sostiene que en el año 2018 se arrojaron 12.739,01 toneladas de basura diaria de las cuales el 11.43% es plástico lo que equivale a 350.000 vehículos medianos. Estas cifras también dan a conocer las regiones que más consumen plástico, como se puede ver en la siguiente gráfica (p. 14).

Ilustración 2-3 Basura plástica rígida por regiones



Fuente: INEC, 2019

Por otro lado, la empresa Recypet Continental by Enkador contribuye con el proceso de reciclaje recibiendo en sus centros de acopio el residuo plástico recogido por recicladores base en un costo alrededor de 0.40 y 0.66 centavos por kilogramo, posteriormente se realiza un riguroso

proceso de selección, ya que en ella solo se trabaja con botellas PET de bebidas de varios colores, excluyendo residuos de productos como aceites, botellas extranjeras shampoo, etc. Luego estos son procesados en un molino hasta obtener la escama o resina PET para nuevo uso y comercialización.

2.4 Proceso de trituración de polímero.

Ilustración 2-4 Proceso de trituración de polímero



Fuente: Recypet

3 CAPÍTULO III: CARACTERIZACIÓN DE MATERIALES Y ENSAYOS

SOBRE MATERIAL PÉTREO Y HORMIGÓN

3.1 Material Pétreo

Los agregados son materiales pétreos de forma granular de origen natural o artificial, que constituyen entre el 65% y el 85% del volumen total del hormigón, e influyen notablemente en las propiedades del hormigón fresco y endurecido, en las proporciones de la mezcla y en la economía (Hurtado, 2014, p. 4).

Permiten darle resistencia al hormigón y evitan la retracción de la pasta de cemento. El objetivo principal es de tener un volumen de huecos mínimo para rellenar con la pasta de cemento, lo que implica una mayor finura y una granulometría adecuada. Además, las características de los agregados influyen directamente sobre algunas propiedades del hormigón del cual forman parte. (Hurtado, 2014, p. 4).

Los agregados se pueden clasificar de distintas maneras, siendo estos mediante su procedencia, densidad, tamaño, forma, textura.

Según el tamaño de las partículas de los agregados, estos pueden variar desde fracciones de milímetros hasta centímetros. La distribución granulométrica es aquella distribución por tamaños y este es el primer punto para la fabricación del hormigón; entonces de acuerdo con su tamaño tenemos dos diferentes tipos de árido siendo estos agregado grueso y agregado fino.

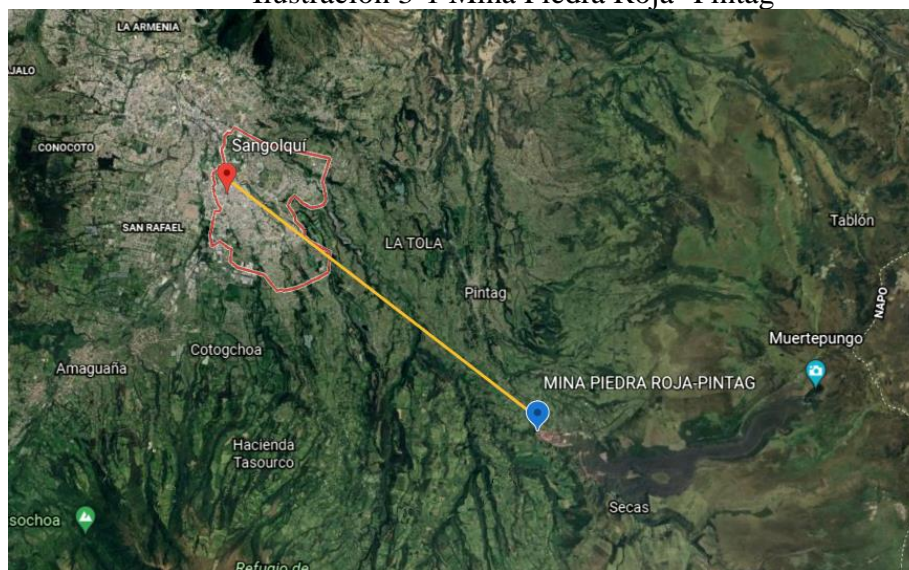
3.2 Descripción y origen

Criollo (2019), describe que el material pétreo de la mina de Pintag o también conocida como “Piedra Roja” se caracteriza por sus diversos orígenes, ya que la cantidad de roca presente

en la zona proviene de volcanes como, Antisana, Cotopaxi, Pasochoa, Rumiñahui, Sincholagua, etc. (pg.12).

Por otro lado, también hace referencia a que el material pétreo presente en la mina en su gran mayoría es andesita fracturada, pero también existe material disgregado, compuesto por clastos sub angulosos de diversos tamaños, que van desde los 5 mm hasta 30 cm, estos son producto de las auto brechas generadas en el sector por el flujo de la lava en el tiempo de formación del depósito. Los tipos de material son posibles de extraerlos de manera mecánica sin necesidad de explosivos.

Ilustración 3-1 Mina Piedra Roja- Pintag



Fuente: Google Earth

3.3 Agregado grueso

Este agregado consiste en una combinación de gravas trituradas cuyas partículas son retenidas específicamente por el tamiz No. 4 correspondiente a 4.75mm y tienen tamaños que se encuentran entre 9.5 mm y 38 mm. Estos se pueden hallar en algunos depósitos naturales llamados grava de mina, río, lago o lecho marino (Hurtado, 2014, p. 6).

3.4 Agregado fino

Este agregado corresponde a las arenas que son fragmentos causados por la desintegración química y mecánica de las rocas bajo meteorización y abrasión, es el agregado que pasa por el tamiz de 3/8" correspondiente a 9.5 mm y casi pasa por completo por el tamiz No. 4 correspondiente a 4.75 mm y es retenido de modo predominante por el tamiz No. 200 de medida 75 um (Hurtado, 2014, p. 6).

3.5 Caracterización de los agregados

3.5.1 Contenido de Humedad

La Absorción de un agregado es la capacidad de los áridos de absorber agua hasta que los poros internos de las partículas de los agregados se saturen, a este estado se lo conoce como superficie saturada seca. Este valor nos ayudará a determinar la masa correcta de los materiales para una mezcla. Esta propiedad se la puede determinar de acuerdo con la norma ASTM C 70. (Kosmatka & Kerhoff, 2004, p. 115)

3.5.1.1 Granulometría

La granulometría es la distribución de los tamaños de las partículas de un agregado tal como se determina por análisis de tamices (norma ASTM C 136). El tamaño de partícula del agregado se determina por medio de tamices de malla de alambre aberturas cuadradas, los números de tamaño (tamaños de granulometría), para el agregado grueso se aplican a las cantidades de agregado (en peso), en porcentajes que pasan a través de un arreglo de mallas. La granulometría y el tamaño máximo de agregado afectan las proporciones relativas de los agregados, así como los

requisitos de agua y cemento, la trabajabilidad, capacidad de bombeo, economía, porosidad, contracción y durabilidad del concreto. (Materiales de Construcción, 2010, párr. 3)

El presente método de prueba cubre la determinación de la distribución del tamaño de partículas de agregados mediante cribado, algunas especificaciones para los agregados que hacen referencia a este método contienen requerimientos de clasificación, se incluyen las instrucciones para la determinación granulométrica de dichos agregados. (ATM C136, 2019, p. 1).

3.5.2 Material Natural que pasa el Tamiz N° 200

Debido a la disgregación de material o agregados naturales se obtienen limos y arcillas considerados como materiales más finos que $75 \mu m$ o también llamado Tamiz #200, estos se presentan en algunos casos como un revestimiento alrededor de las partículas de áridos gruesos o también como polvo, perjudicando en la adherencia de los agregados a utilizar y por ende en la mezcla deseada ya que su excesiva presencia requiere cantidades mayores de agua, disminuyendo así su resistencia (ASTM C117, 2009, pg.1).

3.5.3 Gravedad específica y absorción de los agregados

La gravedad específica permite determinar la densidad promedio de las partículas del árido, con esto se puede conocer el volumen que va a ocupar dentro de una mezcla ya sea de concreto, bitúmenes, entre otras (ASTM C127-128, 2015, p. 1).

3.5.4 Peso Unitario y porcentaje de vacíos

El ASTM C 29 (2009) define al peso unitario o densidad total – bruta de agregados como “la masa de un volumen unitario, en la que el volumen incluye el volumen de las partículas individuales o el volumen de vacíos entre estas” (p. 2).

De esta manera se determina la densidad total al dividir la masa del agregado seco para el volumen que ocupa teniendo en cuenta los vacíos de aire entre partículas y los de absorción.

3.5.5 Equivalente de arena

El ensayo de equivalente de arena se expresa bajo condiciones estándar como las proporciones relativas de arcilla o finos plásticos y polvo en suelos granulares y agregado fino que pasan el tamiz #4 (4.75 mm). Este término expresa que muchos suelos granulares y agregados finos son mezclas de partículas gruesas deseables, arena, con arcilla o fino plásticos y polvo, no deseables (ASTM D 2419, 2003, p. 1).

3.5.6 Contenido Orgánico

La existencia de contenido orgánico tanto animal como vegetal en agregados en grandes cantidades se vuelve perjudicial para las propiedades del hormigón ya que pueden afectar a la durabilidad del hormigón, su resistencia, al momento de hidratar el cemento y su tiempo de fraguado, etc. Por tal razón la Norma ASTM C 40 establece un valor limite aceptable de agregado fino de 500 ppm, mediante una prueba de colorimetría (ASTM C 40, 2011, p. 1)

3.5.7 Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la degradación del agregado grueso de tamaño pequeño por abrasión e impacto de la máquina de los ángeles

Este método de ensayo es para agregado menor a 1.5 pulgadas. El método de Los Ángeles es una medida de la degradación de los agregados minerales o graduaciones normalizadas resultantes de la combinación de acciones, incluyendo la abrasión o desgaste, impacto y molido en el tambor circular de rotación que contiene un número específico de esferas metálicas, el número de esferas, depende de la graduación de la muestra de ensayo. Cuando rota el tambor, un plato toma la muestra y las esferas de acero, rotándolas hasta que se caigan en el lado opuesto del tambor, creando un efecto de impacto-choque. El contenido al girar dentro del tambor con una acción de raer y moler hasta que el plato y los ciclos se repitan. Después del número prescrito de revoluciones, el contenido es removido del tambor y la porción del agregado es tamizada para medir el porcentaje de degradación (ASTM C 131, 2014, pp. 1-2).

3.5.8 Desgaste de los agregados a los Sulfatos

El desgaste a los sulfatos es la capacidad que poseen los agregados a comportarse correctamente al estar en contacto con agentes externos o internos adversos a su uso o al clima, perjudicando así la durabilidad del hormigón.

La Norma ASTM C 88 (2013), establece para agregados fino un desgaste del 10 % y 12 % para agregado grueso, siempre y cuando el ensayo se lo realice con sulfato de sodio.

Por otro lado, también hay que tener en cuenta que este problema afecta a otros materiales que componen el hormigón, como por ejemplo el cemento que contiene aluminato tricálcico el mismo que presenta desgaste al contacto con sulfato de magnesio.

3.6 Cementos

El cemento es un material inorgánico que se obtiene a partir de material primas como: piedra caliza, arenas silíceas, esquistos y mineral de hierro entre otros. A estos materiales, es preciso someter a un arduo proceso industrial que incluye varias moliendas para alcanzar un alto grado de finura, cocción a altas temperaturas en hornos especiales, control estricto en todo proceso y cuidados ambientales. Una de las características importantes del cemento, se produce cuando al mezclarse con una cierta cantidad de agua forma una pasta aglomerante que tiene propiedades adhesivas y cohesivas, lo cual le permite junto al agua y los agregados formar parte de otro material llamado hormigón. La función principal del cemento en la mezcla es de otorgarle fluidez y lubricación en estado fresco y la resistencia adecuada una vez que el hormigón se ha endurecido. En el mercado hay varios tipos de cemento los cuales poseen ciertas características que los diferencian entre sí. El más conocido es el cemento tipo Portland (Hurtado, 2014, p. 16).

3.6.1 Cemento Portland Puzolánico - Tipo IP

El cemento SELVALEGRE es un tipo de cemento diseñado para todo tipo de construcción de hormigón, el mismo que cumple con los requerimientos establecidos por la norma NTE INEN 490 y ASTM C 595.

Ilustración 3-2 Requisitos químicos normalizados para el cemento portland IP

TIPO DE CEMENTO ^A	Método de ensayo aplicable	IS (< 70), IT(P<S<70)	IS (≥ 70), IT(S≥70)	IP, IT(P≥S)
Oxido de magnesio (MgO), % máximo	INEN 160	--	--	6,0
Sulfato, reportado como (SO ₃), % máximo ^B	INEN 160	3,0	4,0	4,0
Sulfuro, reportado como S ²⁻ , % máximo	INEN 160	2,0	2,0	--
Residuo insoluble, % máximo	INEN 160	1,0	1,0	--
Pérdida por calcinación, % máximo	INEN 160	3,0	4,0	5,0

^A Los requisitos químicos en esta tabla son aplicables a todos los cementos con incorporador de aire, equivalentes.

^B Cuando se haya demostrado con el ensayo de la NTE INEN 1 505 que el SO₃ óptimo excede a un valor 0,5% menor del límite de la especificación, es permisible una cantidad adicional de SO₃ a condición de que, cuando el cemento con el sulfato de calcio adicional sea ensayado por el método de ensayo de la NTE INEN 2 501, el sulfato de calcio en el mortero hidratado a las 24 horas ± 15 minutos, expresado como SO₃, no exceda de 0,50 g/l. Cuando el fabricante suministre cemento bajo esta disposición, él, bajo pedido; debe proporcionar datos de soporte al comprador.

Fuente: NTE INEN 490

Ilustración 3-3 Requisitos físicos normalizados para el cemento portland IP

TIPO DE CEMENTO ^A	NORMA APLICABLE	IS (<70), IT(P<S<70), IP, IT(P≥S)	IS (<70) (MS), IT(P<S<70) (MS), IP (MS), IT(P≥S) (MS)	IS (<70) (HS), IT(P<S<70) (MS), IP (HS), IT(P≥S) (HS)	IS (≥70), IT(S≥70)	IP (LH) ^B , IT(P≥S) (LH) ^B
Finura	NTE INEN 196, NTE INEN 957	c	c	c	c	c
Expansión en autoclave, % máximo	NTE INEN 200	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80
Contracción en autoclave, % máximo ^C	NTE INEN 200	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20
Tiempo de fraguado, Ensayo de Vicat. ^E	NTE INEN 158					
Fraguado, minutos, no menor a		45	45	45	45	45
Fraguado, horas, no mayor a		7	7	7	7	7
Contenido de aire en el mortero, volumen % máximo ^A	NTE INEN 195	12	12	12	12	12
Resistencia a la compresión, mínimo ^A , MPa	NTE INEN 488					
3 días		13,0	11,0	11,0	--	--
7 días		20,0	18,0	18,0	5,0	11,0
28 días		25,0	25,0	25,0	11,0	21,0
Calor de hidratación máximo: ^F	NTE INEN 199					
7 días, kJ/kg (cal/g)		290 (70)	290 (70)	290 (70)	--	250 (60)
28 días, kJ/kg (cal/g)		330 (80)	330 (80)	330 (80)	--	290 (70)
Requerimiento de agua, % máximo, en peso del cemento,	NTE INEN 488	--	--	--	--	64
Contracción por secado, % máximo.	NTE INEN 2 504	--	--	--	--	0,15
Expansión en mortero, % máximo: ^G	NTE INEN 867					
14 días		0,020	0,020	0,020	0,020	0,020
8 semanas		0,060	0,060	0,060	0,060	0,060
Resistencia a los sulfatos, % máximo: ^H	NTE INEN 2 503					
Expansión a 180 días		(0,10) ^I	0,10	0,05	--	(0,10) ^I
Expansión a 1 año		--	--	0,10	--	--

^A Cementos con incorporador de aire, deben tener un contenido de aire en el mortero de 19% ± 3% en volumen y la resistencia a compresión mínima no debe ser menor que 80% de la resistencia del tipo de cemento sin incorporación de aire comparable.

^B Aplicable solamente cuando se necesita bajo calor de hidratación o no se requiere altas resistencias a edades tempranas.

^C En todos los informes del fabricante requeridos, según se indica en el numeral 10.4, se debe informar la cantidad retenida al tamizar en húmedo en el tamiz de 45 µm (No. 325) y la superficie específica medida con el aparato de permeabilidad al aire, m²/kg.

^D Los especímenes a ser sometidos al ensayo de expansión en autoclave se deben mostrar firmes y duros y no deben mostrar signos de distorsión, roturas, fisuras, picaduras o desintegración.

^E El tiempo de fraguado se refiere al tiempo inicial de fraguado en la NTE INEN 158. El tiempo de fraguado de cementos que contengan una adición funcional acelerante o retardante solicitada por el usuario no requiere cumplir con los límites de esta tabla, pero debe ser establecido por el fabricante.

^F Aplicable solo cuando se especifica moderado (MH) o bajo (LH) calor de hidratación, en cuyo caso los requisitos de resistencia deben ser el 80% de los valores indicados en la tabla.

^G El ensayo de expansión en el mortero es un requisito opcional a ser aplicado solo a pedido del comprador y no se requiere a menos que el cemento vaya a ser utilizado con áridos reactivos con los álcalis.

^H En los ensayos para un cemento Tipo (HS); el ensayo a un año ya no es necesario cuando el cemento cumple con el límite a los 180 días. Un cemento (HS) que no cumpla el límite a 180 días no debe ser rechazado a menos que no cumpla con el límite a un año.

^I Criterio opcional de resistencia a los sulfatos, aplicable solamente cuando se especifica.

Fuente: NTE INEN 490

3.6.2 Determinación de la densidad del cemento

La norma ASTM C 188 (2014), define a la densidad del cemento hidráulico como la relación existente entre una masa de cemento y el volumen de un líquido no reactivo que dicha masa desplaza en el frasco de Le Chatelier.

$$d = \frac{m}{v}$$

Ecuación 3.1

Donde:

d = Densidad

m = Masa del cemento hidráulico

v = Volumen desplazado

Este valor es utilizado para el cálculo del peso y volumen de una mezcla de hormigón.

4 CAPITULO IV: MEZCLAS DE HORMIGONES

4.1 Dosificación Método ACI 211.1 (Modificado).

Romero & Hernández (2014), hacen referencia a que el método A.C.I. es un método de dosificación para el diseño de mezclas de hormigón; se basa en medir los materiales (cemento, agua, grava y arena) en peso y volumen, y se diseña tanto para una mezcla en estado fresco como endurecido. La norma que rige los diseños de mezclas de concreto es la A.C.I 211.1 que, a su vez, está basada en la norma ASTM C33, donde hace referencia a las especificaciones granulométricas. Antes de diseñar la mezcla, se deben tener datos previos, el tipo de obra que se va a construir y los materiales que se van a usar para construir la obra (p. 35).

No existe un método único de dosificación, sino que, dependiendo de las condiciones que deba reunir el hormigón, el proyectista podrá elegir uno entre varios de los muchos existentes y los resultados que se consigan con él serán buenos cuando éste se haya elegido convenientemente y se hayan realizado las correcciones oportunas mediante masas de prueba.

4.2 Diseño para dosificación de hormigones por el Método ACI 211.1

4.2.1 Asentamiento

El ACI establece el valor a utilizar de acuerdo al tipo de construcción:

Tabla 4-1. Revenimiento “r” recomendado para varios tipos de construcción

CONSTRUCCIÓN DE CONCRETO	REVENIMIENTO MM (PULG.)	
	Máximo	Mínimo
Zapatas y muros de cimentación reforzados	75 (3)	25 (1)
Zapatas, cajones y muros de subestructuras sin refuerzo	100 (4)	25 (1)
Vigas y muros reforzados	100 (4)	25 (1)
Columnas de edificios	75 (3)	25 (1)
Pavimentos y losas	75 (3)	25 (1)
Concreto Masivo	75 (3)	25 (1)

Fuente: ACI 211.1-91- Diseño de mezclas de concreto.

4.2.2 Agua Neta

La importancia del control de la cantidad de agua se debe a que este factor influirá notablemente en el desarrollo de la resistencia, adherencia, manejabilidad, hidratación, etc. del concreto.

Por esta razón, la siguiente tabla establece los valores de agua neta y % de aire atrapado en la mezcla a utilizarse en función del Tamaño máximo nominal del agregado grueso y el asentamiento.

Tabla 4-2 Requisitos Aproximados de Agua de Mezcla y contenido de Aire para diferentes Revenimientos o Tamaños Máximos nominales de Agregado.

Revenimiento, mm	Agua, kilogramos por metro cúbico de concreto, para los tamaños de agregado indicados.							
	9,5 mm	12,5 mm	19 mm	25 mm	37,5 mm	50 mm	75 mm	150 mm
Concreto sin aire incluido								
25 a 50	207	199	190	179	166	154	130	113
75 a 100	228	216	205	193	181	169	145	124
150 a 175	243	228	216	202	190	178	160	-
Cantidad aproximada de aire atrapado en un concreto sin aire incluido, porcentaje	3	2,5	2	1,5	1	0,5	0,3	0,2
Concreto con aire incluido								
25 a 50	181	175	168	160	150	142	122	107
75 a 100	202	193	184	175	165	157	133	119
150 a 175	216	205	197	184	174	166	154	-

Fuente: ACI 211.1-91 – Tabla 6.3.3; Diseño de mezclas de concreto - IMCYC

4.2.3 Porcentaje de Seguridad

Se establece un porcentaje de seguridad ya que se requiere garantizar que el hormigón llegue a la resistencia estimada previamente, obteniendo así una resistencia de diseño; este porcentaje es aproximadamente de 5%.

4.2.4 Relación agua/ cemento (por resistencia F_{cr}).

La relación a/c es un factor esencial para el diseño ya que este influye directamente en la resistencia del concreto, afectando la compresión del mismo con o sin aire incluido, para determinar la relación y luego de haber definido el porcentaje de seguridad aplicaremos la siguiente expresión:

$$f'c_{diseño} = f'c_{requerido} * \left(1 + \frac{\% \text{ de seguridad}}{100} \right)$$

Ecuación 4.1

Calculado el valor de $f'c_{diseño}$ procedemos a obtener la relación agua/cemento de la siguiente tabla (Tabla 6.3.4) la misma que a sido adecuada por el Ingeniero Lauro Lara por medio de investigaciones para que sean aptas de usarlas de acuerdo a los agregados y cementos presentes en Ecuador.

Tabla 4-3 (Métrica) Dependencia entre la Relación Agua-Material Cementante y la Resistencia a Compresión del Concreto

Resistencia a la compresión a los 28 días, kg/cm^2 (Mpa)	Relación agua- material cementante en masa	
	Cemento Portland (ACI 211.1)	Cemento Modificado IP, P, (Ing. Lauro Lara)
400 (40)	0.42	0.33
350 (35)	0.47	0.38
300 (30)	0.54	0.43
250 (25)	0.61	0.50
200 (20)	0.69	0.58
150 (15)	0.79	0.67

Fuente: ACI 211.1-91 - Tabla 6.3.4 (a); Diseño de mezclas de concreto – IMCYC

4.2.5 Contenido de cemento.

Con la obtención del valor de agua neta y la relación agua/cemento procedemos a calcular la cantidad de cemento con la siguiente expresión:

$$Cemento = \frac{Agua\ neta}{Rel.a/c}, \left(\frac{kg}{m^3} \right)$$

Ecuación 4.2

4.2.6 Cálculo de agregados en estado saturado con superficie seca (S.S.S)

Para definir el valor del peso unitario de los agregados S.S.S, debemos calcular primeramente el peso unitario del hormigón fresco.

$$Agregados\ (sss) = Um - Cemento - Agua\ neta$$

Ecuación 4.3

Para realizar este cálculo y obtener el peso unitario del hormigón fresco debemos haber definido previamente las propiedades de los agregados o materiales pétreos a utilizar como son: absorción, humedad natural, gravedad específica tanto de los agregados como del cemento, etc.

$$Um = 10Ga(100 - A) + Cm \left(1 - \frac{Ga}{Gc} \right) - Wm(Ga - 1)$$

Ecuación 4.4

Siendo:

Ga= Gravedad específica sss promedio del agregado grueso y fino combinado.

Gc= Gravedad específica del cemento.

A= Porcentaje de aire atrapado, (%).

W_m = Cantidad de agua neta, (kg/m^3) .

C_m = Cantidad de cemento, (kg/m^3) .

4.2.7 Cantidad de agregado fino y grueso, en SSS.

Una vez obtenidos los módulos de finura con las siguientes expresiones:

$$m_t = \left(MF_f * \frac{x}{100} \right) + \left(MF_g * \frac{y}{100} \right)$$

Ecuación 4.5

$$X + Y = 100$$

Ecuación 4.6

Podemos establecer el porcentaje de agregado fino y grueso, el primero nos proporcionará la ayuda para definir la cantidad de arena y ripio en SSS. Con ya se conoce, con dichos valores evidenciamos que la cantidad de mezcla sea la correcta para evitar problemas como son el escurrimiento de la segregación de la misma.

$$\text{Arena (SSS)} = \frac{\% \text{ de agregado fino}}{100} * \text{Agregados(sss)}$$

Ecuación 4.7

$$\text{Ripio 1 (SSS)} = \frac{\% \text{ de agregado grueso}}{100} * \text{Agregados(sss)}$$

Ecuación 4.8

$$\text{Ripio 2 (SSS)} = \frac{\% \text{ de agregado agregado}}{100} * \text{Agregados(sss)}$$

Ecuación 4.9

4.2.8 Cantidad de agregados en estado natural.

Al momento de dosificar es impórtate conocer el estado de humedad en los que se encuentran los agregados, esto se define con la siguiente expresión:

$$\text{Masa Seca Ripio 1} = \frac{\text{Ripio 1 (SSS)}}{1 + \frac{\% \text{ Absorción Ripio 1}}{100}}$$

Ecuación 4.10

$$\text{Masa Seca Ripio 2} = \frac{\text{Ripio 2 (SSS)}}{1 + \frac{\% \text{ Absorción Ripio 2}}{100}}$$

Ecuación 4.11

$$\text{Masa Seca Arena} = \frac{\text{Arena (SSS)}}{1 + \frac{\% \text{ Absorción Arena}}{100}}$$

Ecuación 4.12

$$\text{Ripio Natural 1} = \text{Masa Seca Ripio 1} * \left(1 + \frac{\% \text{ Humedad Ripio 1}}{100} \right)$$

Ecuación 4.13

$$\text{Ripio Natural 2} = \text{Masa Seca Ripio 2} * \left(1 + \frac{\% \text{ Humedad Ripio 2}}{100} \right)$$

Ecuación 4.14

$$\text{Arena Natural} = \text{Masa Seca Arena} * \left(1 + \frac{\% \text{ Humedad Arena}}{100} \right)$$

Ecuación 4.15

4.2.9 Agua de mezcla

Siguiente expresión:

$$\begin{aligned} \text{Agua de mezcla} = \text{Agua neta} + & \frac{\text{Arena}(s)(\%abs - \%hum)}{100} + \frac{\text{Ripio1}(s)(\%abs.\text{rip } 1 - \%hum.\text{rip. } 1)}{100} \\ & + \frac{\text{Ripio2}(s)(\%abs.\text{ripio2} - \%hum.\text{rip. } 2)}{100} \end{aligned}$$

Ecuación 4.16

Siendo:

Arena (s) = Masa seca de arena.

Ripio (s) = Masa seca de ripio.

%abs = Absorción.

%hum = Humedad natural.

4.2.10 Dosificación y restimación.

Se elaboró la dosificación para obtener hormigones convencionales con un asentamiento estimado entre 7.5 a 10 cm el mismo que fue establecido en 9+/-1 cm. Después de haber conseguido la primera mezcla se debe corroborar que el peso unitario obtenido y su asentamiento es el mismo o se asemeja al valor esperado, en el caso de no haber obtenido dichos valores se procede a restimar el agua neta de la siguiente forma:

1. Corrección- Peso unitario:

$$\text{Factor de corrección} = \frac{\text{Peso unitario esperado}}{\text{Peso unitario obtenido}}$$

Ecuación 4.17

2. Corrección- Asentamiento:

$$Agua\ neta\ corregida = \frac{Agua\ neta}{Factor\ de\ corrección} + 2 * (asent.\ requerido - asent.\ obtenido)$$

Ecuación 4.18

Donde:

Por cada 2 kilogramos de agua, incrementa o reduce 1 centímetro su asentamiento dentro de 1 metro cubico de hormigón.

4.3 Dosificación de muestras patrón de hormigón f'c esperado = 240 kg/cm² y f'c esperado = 280 kg/cm².

Tabla 4-4 Dosificación f'c esperado= 240 kg/cm²

Dosificación muestra patrón f'c = 240 kg/cm²	
AGUA	219 kg/m ³
CEMENTO	369 kg/m ³
ARENA	783 kg/m ³
RIPIO 1 (1")	324 kg/m ³
RIPIO 2 (3/4")	322 kg/m ³

Fuente: Propia

Tabla 4-5 Dosificación f'c esperado= 280 kg/cm²

Dosificación muestra patrón f'c = 280 kg/cm²	
AGUA	236 kg/m ³
CEMENTO	457 kg/m ³
ARENA	826 kg/m ³
RIPIO 1 (1")	341 kg/m ³
RIPIO 2 (3/4")	340 kg/m ³

Fuente: Propia

4.4 Fabricación de mezclas de hormigón añadiendo diferentes porcentajes del polímero (Tapas plásticas trituradas).

Para la dosificación del hormigón utilizando porcentajes (3%, 5%, 7%) de polímero plástico (tapas plásticas recicladas trituradas) material con forma de escamas en reemplazo del agregado fino, se parte de las dosificaciones de hormigón normal ya realizadas ($F'c = 240 \text{ kg/cm}^2$ y $F'c = 280 \text{ kg/cm}^2$), y se obtuvo los siguientes valores:

Tabla 4-6 Dosificación $f'c$ esperado= 240 kg/cm^2 - 3% TPR

Dosificación muestra patrón $f'c = 240 \text{ kg/cm}^2$ con 3% TPR	
AGUA	$219 \text{ Kg} / \text{m}^3$
CEMENTO	$369 \text{ Kg} / \text{m}^3$
ARENA	$760 \text{ Kg} / \text{m}^3$
POLÍMERO	$235 \text{ Kg} / \text{m}^3$
RIPIO 1 (1")	$324 \text{ Kg} / \text{m}^3$
RIPIO 2 (3/4")	$322 \text{ Kg} / \text{m}^3$

Fuente: Propia

Tabla 4-7 Dosificación $f'c$ esperado= 280 kg/cm^2 - 3% TPR

Dosificación muestra patrón $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$ con 3% TPR	
AGUA	$236 \text{ Kg} / \text{m}^3$
CEMENTO	$457 \text{ Kg} / \text{m}^3$
ARENA	$801 \text{ Kg} / \text{m}^3$
POLÍMERO	$248 \text{ Kg} / \text{m}^3$
RIPIO 1 (1")	$341 \text{ Kg} / \text{m}^3$
RIPIO 2 (3/4")	$340 \text{ Kg} / \text{m}^3$

Fuente: Propia

Tabla 4-8 Dosificación f'c esperado= 240 kg/cm² - 5% TPR

Dosificación muestra patrón f'c = 240 kg/cm² con 5% TPR	
AGUA	219 Kg / m ³
CEMENTO	369 Kg / m ³
ARENA	744 Kg / m ³
POLÍMERO	392 Kg / m ³
RIPIO 1 (1")	324 Kg / m ³
RIPIO 2 (3/4")	322 Kg / m ³

Fuente: Propia

Tabla 4-9 Dosificación f'c esperado= 280 kg/cm² - 5% TPR

Dosificación muestra patrón f'c = 280 kg/cm² con 5% TPR	
AGUA	236 Kg / m ³
CEMENTO	457 Kg / m ³
ARENA	785 Kg / m ³
POLÍMERO	413 Kg / m ³
RIPIO 1 (1")	341 Kg / m ³
RIPIO 2 (3/4")	340 Kg / m ³

Fuente: Propia

Tabla 4-10 Dosificación f'c esperado= 240 kg/cm² - 7% TPR

Dosificación muestra patrón f'c = 240 kg/cm² con 7% TPR	
AGUA	219 Kg / m ³
CEMENTO	369 Kg / m ³
ARENA	728 Kg / m ³
POLÍMERO	548 Kg / m ³
RIPIO 1 (1")	324 Kg / m ³
RIPIO 2 (3/4")	322 Kg / m ³

Fuente: Propia

Tabla 4-11 Dosificación f'c esperado= 280 kg/cm² -7% TPR

Dosificación muestra patrón f'c = 280 kg/cm² con 7% TPR	
AGUA	236 Kg / m ³
CEMENTO	457 Kg / m ³
ARENA	768 Kg / m ³
POLÍMERO	578 Kg / m ³
RIPIO 1 (1")	341 Kg / m ³
RIPIO 2 (3/4")	340 Kg / m ³

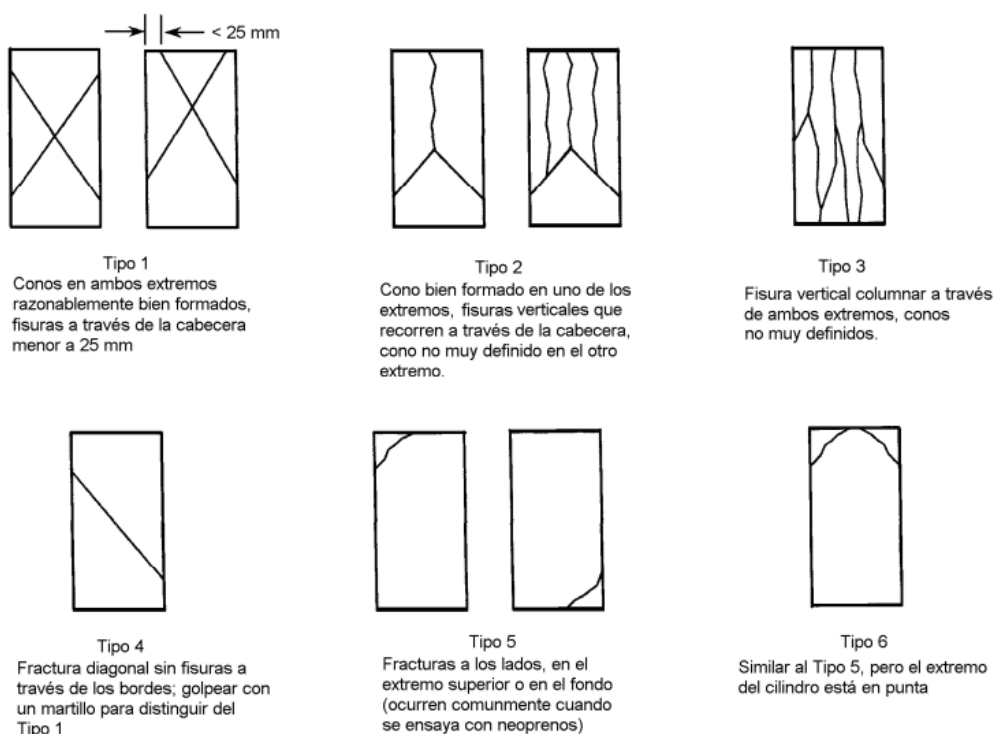
Fuente: Propia

4.5 Ensayos de compresión simple en cilindros de hormigón (ASTM C 39)

La resistencia a la compresión es una de las características con mayor importancia del hormigón, debido a que el diseño de su estructura está enfocado en desarrollar resistencia a esfuerzos de compresión (INEN,2010).

Las muestras cilíndricas que se emplearon en este ensayo poseen dimensiones estandarizadas, las cuales son: diámetro = $15 \pm$ cm, longitud = $30 \pm$ cm; a estas muestras se las somete a una carga axial con una velocidad comprendida entre $0.34 - 0.14$ MPa/s hasta que se produzca la falla o rotura, para posteriormente calcular la resistencia a la compresión empleando la carga máxima alcanzada, dividida para el área de la sección transversal de la muestra (INEN,2010).

Ilustración 4-1 Modelos típicos de fractura



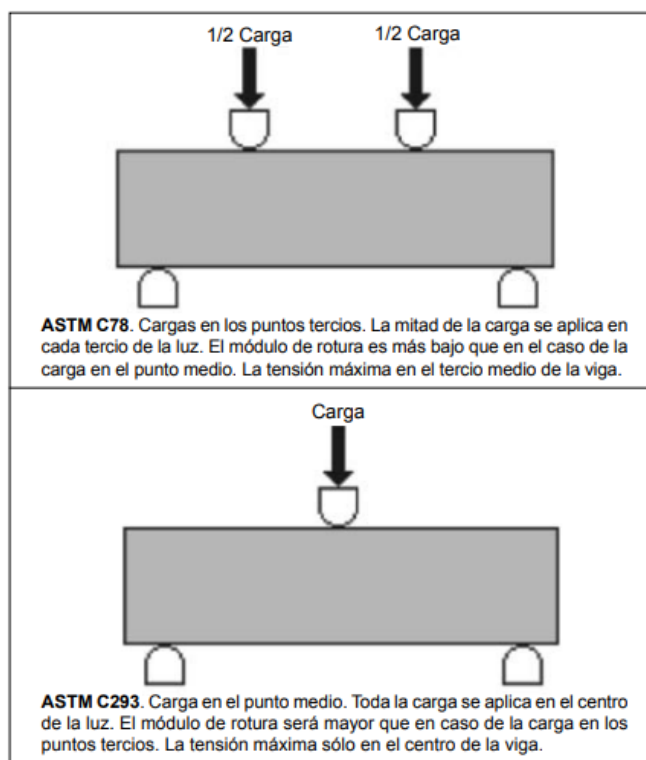
Fuente: INEN 573

4.6 Tracción por flexión de viguetas (ASTM C 78)

Según INEN (2011), la resistencia a la flexión es una medida de la resistencia a la tracción del hormigón, donde se aplica un esfuerzo a una viga de hormigón no reforzada hasta que esta llegue a fallar, dando como resulta el módulo de rotura, obtenido en MPa esto definido por la norma ASTM C78.

Esta norma establece el Método Tres Puntos, el mismo que consiste en que el espécimen a prueba sea apoyado libremente en sus extremos, y cargado en los tercios de su luz libre, donde se estima el momento máximo hasta que se produzca la rotura. El porcentaje del Módulo de Rotura está comprendido entre el 10% y 20% de la resistencia alcanza en el ensayo de compresión. (INEN, 2011).

Ilustración 4-2 Longitud de aplicación de carga



Fuente: Concreto, I.E. (2009). Inecy.otg.ec

Se obtiene el módulo de rotura con la siguiente fórmula:

$$MR = \frac{P * L}{b * d^2}$$

Ecuación 4.19

Siendo:

P = Carga aplicada (KN).

L = Luz libre (mm).

b = Promedio del ancho (mm).

d = Promedio de la altura (mm).

4.7 Módulo de Elasticidad (ASTM C 469)

El módulo de elasticidad está definido como la relación existente entre el esfuerzo que se aplica al material y la deformación unitaria producida (Páez,2018).

Este ensayo es manejado bajo la Norma ASTM C 469, donde los valores del módulo son obtenidos de un rango comprendido entre 0% y 40% de la resistencia ultima de la muestra (ACI, 1995).

Dicha Norma establece la siguiente fórmula para el cálculo del módulo de elasticidad:

$$E = \frac{\sigma_2 - \sigma_1}{\varepsilon_2 - 0.000050}$$

Ecuación 4.20

Siendo:

E = Módulo de elasticidad, (kg/cm^2).

σ_1 = Esfuerzo debido a la deformación longitudinal de 50 millonésima, (kg/cm^2).

σ_2 = Esfuerzo debido al 40% de la carga última, (kg/cm^2) .

ε_2 = Deformación longitudinal producida por el esfuerzo σ_2 .

Por otro lado, el ACI pone en consideración la siguiente expresión:

$$E = 4270 * W^{1.5} * \sqrt{f'c} ; (kg/cm^2)$$

Ecuación 4.21

Siendo:

E = Módulo de elasticidad.

$W^{1.5}$ = Peso específico.

$f'c$ = Esfuerzo máximo de compresión.

Para compara los valores previamente obtenidos por el ACI tenemos los siguientes parámetros:

$$\lambda = \frac{\alpha}{W^{1.5}}$$

Ecuación 4.22

Donde:

$$\alpha = \frac{E_c}{\sqrt{f'c}}$$

Ecuación 4.23

5 CAPITULO V: CÁLCULOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

5.1 Ensayos en áridos.

5.1.1 Contenido de Humedad

5.1.1.1 Contenido de Humedad – Agregado Fino

Tabla 5-1 Contenido de Humedad - Fino

Contenido de Humedad - Fino			
Masa de la muestra original (g)	121,1	125,89	116,06
Masa de la muestra seca (g)	117,77	122,45	113,06
Contenido total de humedad (%)	2,83	2,81	2,65
Contenido de humedad promedio (%)			
2,82			

Fuente: Propia

5.1.1.2 Contenido de Humedad – Agregado Grueso 1”

Tabla 5-2 Contenido de Humedad – 1”

Contenido de Humedad – 1”			
Masa de la muestra original (g)	318,26	342,47	411,37
Masa de la muestra seca (g)	317,46	341,37	410,27
Contenido total de humedad (%)	0,25	0,32	0,27
Contenido de humedad promedio (%)			
0,26			

Fuente: Propia

5.1.1.3 Contenido de Humedad – Agregado Grueso ¾”

Tabla 5-3 Contenido de Humedad - ¾”

Contenido de Humedad - ¾”			
Masa de la muestra original (g)	268,2	279,22	249,57
Masa de la muestra seca (g)	267,4	278,02	248,57
Contenido total de humedad (%)	0,30	0,43	0,40
Contenido de humedad promedio (%)			
0,41			

Fuente: Propia

5.1.2 Granulometría (NTE INEN 696)

Tabla 5-4 Granulometría - Agregado Fino

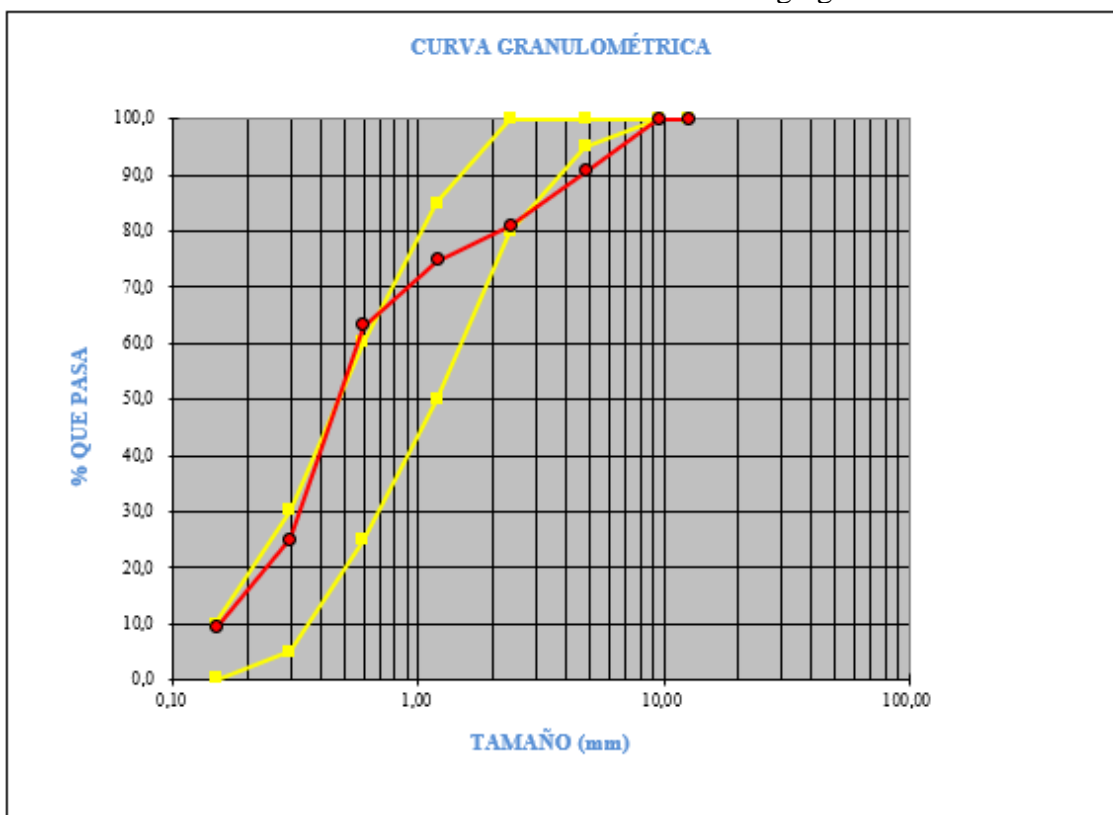
MALLA No.	ABERTURA (mm)	MASA RETENIDA PARCIAL	MASA RETENIDA ACUMULA	PORCENTAJE RETENIDO (%)	PORCENTAJE QUE PASA (%)	ESPECIFICACIONES	
						% mín.	% máx.
1/2"	12,70	0,0	0,0	0,0	100,0	100,0	100,0
3/8"	9,51	0,0	0,0	0,0	100,0	100,0	100,0
No.4	4,76	97,0	97,0	9,5	90,5	95,0	100,0
No. 8	2,36	99,0	196,0	19,3	80,7	80,0	100,0
No. 16	1,19	62,0	258,0	25,4	74,6	50,0	85,0
No.30	0,60	118,0	376,0	37,0	63,0	25,0	60,0
No.50	0,30	385,0	761,0	74,8	25,2	5,0	30,0
No.100	0,149	163,0	924,0	90,9	9,1	0,0	10,0
P A S A No 100		93,0	93,0				
SUMA:		1017,0	1017,0				

Fuente Propia

MF = 2.57

Tamaño Máximo = 1”

Ilustración 5-1 Curva Granulométrica Agregado Fino



Fuente: Propia

Tabla 5-5 Granulometría - Agregado Grueso

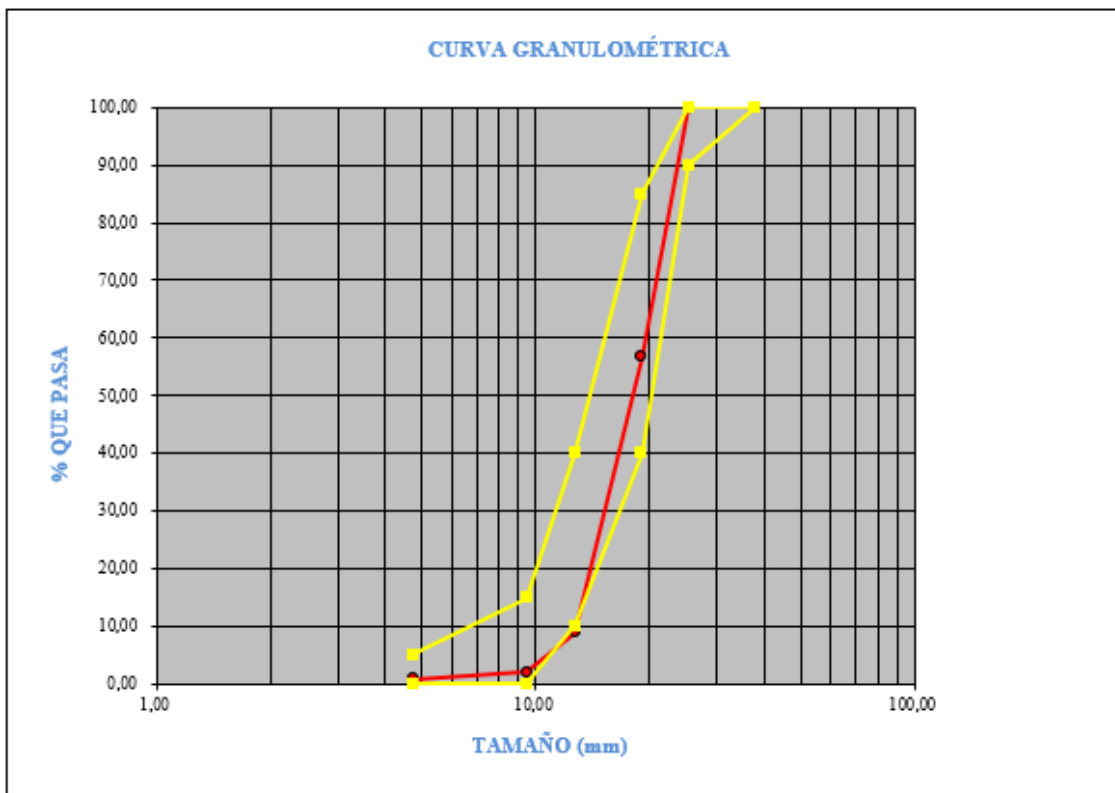
MALLA No.	ABERTURA (mm)	MASA RETENIDA PARCIAL (gr)	MASA RETENIDA ACUMULADA (gr)	PORCENTAJE RETENIDO (%)	PORCENTAJE QUE PASA (%)	ESPECIFICACIONES	
						% mín.	% máx.
1 1/2"	38,10	0,0	0,0	0,00	100,00	100,0	100,0
1"	25,40	0,0	0,0	0,00	100,00	90,0	100,0
3/4"	19,00	4713,5	4713,5	43,29	56,71	40,0	85,0
1/2"	12,70	5198,5	9912,0	91,03	8,97	10,0	40,0
3/8"	9,51	749,5	10661,5	97,92	2,08	0,0	15,0
Nº 4	4,76	128,0	10789,5	99,09	0,91	0,0	5,0
PASA No 4		99,0	99,0				
SUMA:		10888,5	10888,5				

Fuente Propia

MF = 7.40

Tamaño Máximo = #4

Ilustración 5-2 Curva Granulométrica Agregado Grueso



Fuente: Propia

5.1.3 Material Natural que pasa el Tamiz N° 200 (NTE INEN 697)

$$A = \frac{B - C}{B} * 100$$

Ecuación 5.1

Siendo:

A= % de material más fino que pasa el tamiz con aberturas de 75 μm (N°200) mediante lavado.

B= Masa seca original de la muestra, gr.

C= Masa seca de la muestra luego del lavado, gr.

Tabla 5-6 Material Natural que pasa el Tamiz N° 200

B	C	A
625.87 (gr)	528.42 (gr)	15.57%

Fuente Propia

5.1.4 Gravedad Específica y absorción de los agregados (NTE INEN 856 / 857)

Tabla 5-7 Gravedad Específica y absorción Agregado fino

DESCRIPCIÓN		Valor
Masa de la muestra seca (g)	A	472,6
Masa del matraz con agua (g)	B	652,3
Masa de la muestra + matraz+ agua (g)	C	952,3
Masa de la muestra saturada con superficie seca (g)	S	501
Gravedad especifica Bulk	GE	2,35
Gravedad especifica de material saturado con superficie seca	GEs	2,49
Gravedad especifica aparente	Gea	2,74
Porcentaje de absorción	Ab	6,00

Fuente: Propia

Tabla 5-8 Gravedad Específica y absorción del Agregado Grueso 1”

DESCRIPCIÓN		Valor
Masa de la muestra seca (g)	A	4963
Masa del matraz con agua (g)	B	5078
Masa de la muestra + matraz+ agua (g)	C	3010
Gravedad especifica Bulk	GE	2,40
Gravedad especifica de material saturado con superficie seca	GEs	2,46
Gravedad especifica aparente	Gea	2,54
Porcentaje de absorción	Ab	2,32

Fuente: Propia

Tabla 5-9 Gravedad Específica y absorción del Agregado grueso 3/4"

DESCRIPCIÓN		Valor
Masa de la muestra seca (g)	A	3934
Masa del matraz con agua (g)	B	4047
Masa de la muestra + matraz+ agua (g)	C	2395
Gravedad específica Bulk	GE	2,38
Gravedad específica de material saturado con superficie seca	GEs	2,45
Gravedad específica aparente	Gea	2,56
Porcentaje de absorción	Ab	2,87

Fuente: Propia

5.1.5 Peso unitario de agregados y porcentaje de vacíos (NTE INEN 858)

Tabla 5-10 Peso Unitario de Agregados

AGREGADO		FINO	1"	3/4"
Masa del molde (g)	P	5050	8540	8540
Volumen del molde (g)	V	2980	9950	9950
Masa molde + material suelto (g)	A	9046	21538	21498
Masa molde + material compacto (g)	B	9691	22714	21875
Masa del material suelto (g)	Ms	3996	12998	12958
Masa del material compacto (g)	Mc	4641	14174	13335
Peso unitario suelto (Kg/m3)	Pus	1340,94	1306,33	1302,31
Peso unitario compactado (Kg/m3)	Puc	1557,38	1424,52	1340,2
Vacíos (%)		37.46%	42.09%	45.30%

Fuente: Propia

5.1.6 Equivalente de Arena (ASTM D 2419)

$$EA = \frac{B}{A} * 100$$

Ecuación 5.2

Tabla 5-11 Equivalente de Arena

N°	1	2
LECTURA A	5,2	5
LECTURA B	4,1	4,3
EQUIVALENTE	78,85%	86%
PROMEDIO	82,42%	

Fuente: Propia

5.1.7 Contenido Orgánico (NTE INEN 855)

Tabla 5-12 Contenido Orgánico

Color de muestra (# Escala)	≤ 2
ASTM C 40	Cumple

Fuente: Propia

5.1.8 Abrasión (NTE INEN 860)

Tabla 5-13 Desgaste del agregado grueso en Maquina de los Ángeles

Desgaste del agregado grueso en Maquina de los Ángeles				
Masa Inicial (g)	Masa Pasante Tamiz N° 12	Masa Retenida Tamiz N°12	Abrasión (%)	Máximo Valor INEN 860 (50%)
4903	1386	3567	28,27	Cumple

Fuente: Propia

5.1.9 Desgaste de los agregados a los Sulfatos (NTE INEN 863)

5.1.9.1 Desgaste – Agregado Fino

Tabla 5-14 Desgaste – Agregado Fino

TAMIZ		% PARCIAL RETENIDO	MASA FRACCIÓN INICIAL	MASA FRACCIÓN FINAL	% DESPUÉS DEL ENSAYO	% DESGASTE PARCIAL
PASA	RETIENE					
	3/8"	0,29	4,8	3,3	10,2	0,03
3/8"	#4	3,2	26,39	32,56	10,17	0,34
#4	#8	18,15	101	96,8	3	0,55
#8	#16	19,3	100,01	97	2,08	0,41
#16	#30	15,6	100,00	96,87	3,67	0,58
#30	#50	14,2	100,04	89,4	10,11	1,4
#50		29			10,11	2,87
% TOTAL DESGASTE						6,18

Fuente: Propia

5.1.9.2 Desgaste - Agregado Grueso

Tabla 5-15 Desgaste - Agregado Grueso

TAMIZ		% PARCIAL RETENIDO	MASA FRACCIÓN INICIAL	MASA FRACCIÓN FINAL	% DESPUÉS DEL ENSAYO	% DESGASTE PARCIAL
PASA	RETIENE					
1 1/2"	1"	1,02	336	332,9	0,92	0,01
1"	3/4"	3,2	674	669,74	0,63	0,02
3/4"	1/2"	16,45	509	506	0,59	0,09
1/2"	3/8"	16,83	331	325,97	1,52	0,26
3/8"	#4	40,08	300	295,91	1,36	0,54
#4		22,2			1,37	0,31
% TOTAL DESGASTE						1,23

Fuente: Propia

5.2 Ensayos de cemento

5.2.1 Densidad (NTE INEN 156)

Tabla 5-16 Densidad del cemento

Descripción	Unidad	Cantidad
Gasolina + lectura inicial frasco Chatelier	<i>cm³</i>	0,52
Gasolina + masa inicial frasco	<i>g</i>	327,7
Gasolina + cemento + lectura final frasco Chatelier	<i>cm³</i>	18,8
Gasolina + cemento + masa final frasco	<i>g</i>	381,7
Densidad	<i>g/cm³</i>	2,95

Fuente: Propia

5.3 Ensayos de Hormigón en estado endurecido

5.3.1 Resistencia a la compresión (ASTM C 39)

5.3.1.1 Muestra sin modificar $f'c = 240 \text{ Kg/cm}^2$ (28 días de edad)

Tabla 5-17 Muestra sin modificar $f'c = 240 \text{ Kg/cm}^2$ (28 días de edad)

Obra:	Tesis	Ensayado por:	Gualle Carlos; Guayasamin Debbie
Esfuerzo esperado:	240 kg/cm ²	Calculado por:	Gualle Carlos; Guayasamin Debbie
Edad:	28 días	Aprobado por:	Geosoil Cía. Ltda.
% escamas:	0%	Fecha:	7/4/2022

Muestra	1	2	3	4	5	6
Fecha elaboración	10/3/2022	10/3/2022	10/3/2022	10/3/2022	10/3/2022	10/3/2022
Fecha de rotura	7/4/2022	7/4/2022	7/4/2022	7/4/2022	7/4/2022	7/4/2022
Edad del cilindro (días)	28	28	28	28	28	28
Diámetro 1 (mm)	151	150	151	150	150	150
Diámetro 2 (mm)	150	151	151	151	151	150
Altura 1 (mm)	301	299	299	299	300	300
Altura 2 (mm)	302	298	300	298	300	300
Altura 3 (mm)	301	297	299	300	301	300
Masa (Kg)	11,8	11,6	11,8	11,6	11,8	11,8
Altura promedio	301,33	298,00	299,33	299,00	300,33	300,00
Diámetro promedio (cm)	15,05	15,05	15,10	15,05	15,05	15,00
Área (mm ²)	17789,46	17789,46	17907,86	17789,46	17789,46	17671,46
Tipo de falla	V	V	V	V	V	V
Carga máx. (N)	432980	460180	451170	463250	433960	442140
Resistencia máxima (Kg/cm ²)	248,11	263,69	256,82	265,45	248,67	255,05
Resistencia promedio	256,30					
Desviación estándar	7,29					
Resistencia característica	246,53					

Fuente: Propia

5.3.1.2 Muestra modificada con escamas 3% $f'c= 240 \text{ Kg/cm}^2$ (28 días de edad)

Tabla 5-18 Muestra modificada con escamas 3% $f'c= 240 \text{ Kg/cm}^2$ (28 días de edad)

Obra:	Tesis	Ensayado por:	Gualle Carlos; Guayasamin Debbie
Esfuerzo esperado:	240 kg/cm ²	Calculado por:	Gualle Carlos; Guayasamin Debbie
Edad:	28 días	Aprobado por:	Geosoil Cía. Ltda.
% escamas:	3%	Fecha:	7/4/2022

Muestra	7	8	9	10	11	12
Fecha elaboración	10/3/2022	10/3/2022	10/3/2022	10/3/2022	10/3/2022	10/3/2022
Fecha de rotura	7/4/2022	7/4/2022	7/4/2022	7/4/2022	7/4/2022	7/4/2022
Edad del cilindro (días)	28	28	28	28	28	28
Diámetro 1 (mm)	150	150	150	150	151	151
Diámetro 2 (mm)	150	151	151	151	151	151
Altura 1 (mm)	301	299	299	299	300	300
Altura 2 (mm)	302	298	300	298	300	300
Altura 3 (mm)	301	297	299	300	301	300
Masa (Kg)	11,7	11,5	11,7	11,5	11,7	11,7
Altura promedio	301,33	298,00	299,33	299,00	300,33	300,00
Diámetro promedio (cm)	15,00	15,05	15,05	15,05	15,10	15,10
Área (mm ²)	17671,46	17789,46	17789,46	17789,46	17907,86	17907,86
Tipo de falla	V	V	V	V	V	V
Carga máx. (N)	436900	478630	469470	476490	441680	460634
Resistencia máxima (Kg/cm ²)	252,02	274,26	269,01	273,04	251,42	262,21
Resistencia promedio	263,66					
Desviación estándar	10,16					
Resistencia característica	250,04					

Fuente: Propia

5.3.1.3 Muestra modificada con escamas 5% $f'c=240$ Kg/cm² (28 días de edad)

Tabla 5-19 Muestra modificada con escamas 5% $f'c=240$ Kg/cm² (28 días de edad)

Obra:	Tesis	Ensayado por:	Gualle Carlos; Guayasamin Debbie
Esfuerzo esperado:	240 kg/cm ²	Calculado por:	Gualle Carlos; Guayasamin Debbie
Edad:	28 días	Aprobado por:	Geosoil Cía. Ltda.
% escamas:	5%	Fecha:	7/4/2022

Muestra	13	14	15	16	17	18
Fecha elaboración	10/3/2022	10/3/2022	10/3/2022	10/3/2022	10/3/2022	10/3/2022
Fecha de rotura	7/4/2022	7/4/2022	7/4/2022	7/4/2022	7/4/2022	7/4/2022
Edad del cilindro (días)	28	28	28	28	28	28
Diámetro 1 (mm)	152	150	150	150	150	151
Diámetro 2 (mm)	151	149	151	151	150	150
Altura 1 (mm)	304	305	300	302	303	304
Altura 2 (mm)	304	305	300	301	303	304
Altura 3 (mm)	303	304	300	302	302	303
Masa (Kg)	11,9	11,7	11,8	11,7	11,8	11,8
Altura promedio	303,67	304,67	300,00	301,67	302,67	303,67
Diámetro promedio (cm)	15,15	14,95	15,05	15,05	15,00	15,05
Área (mm ²)	18026,65	17553,85	17789,46	17789,46	17671,46	17789,46
Tipo de falla	V	V	V	V	V	V
Carga máx. (N)	394600	407570	388410	404600	398520	389890
Resistencia máxima (Kg/cm ²)	223,14	236,68	222,57	231,84	229,88	223,41
Resistencia promedio	227,92					
Desviación estándar	5,79					
Resistencia característica	220,16					

Fuente: Propia

5.3.1.4 Muestra modificada con escamas 7% $f'c=240$ Kg/cm² (28 días de edad)

Tabla 5-20 Muestra modificada con escamas 7% $f'c=240$ Kg/cm² (28 días de edad)

Obra:	Tesis	Ensayado por:	Gualle Carlos; Guayasamin Debbie
Esfuerzo esperado:	240 kg/cm ²	Calculado por:	Gualle Carlos; Guayasamin Debbie
Edad:	28 días	Aprobado por:	Geosoil Cía. Ltda.
% escamas:	7%	Fecha:	7/4/2022

Muestra	19	20	21	22	23	24
Fecha elaboración	10/3/2022	10/3/2022	10/3/2022	10/3/2022	10/3/2022	10/3/2022
Fecha de rotura	7/4/2022	7/4/2022	7/4/2022	7/4/2022	7/4/2022	7/4/2022
Edad del cilindro (días)	28	28	28	28	28	28
Diámetro 1 (mm)	152	152	151	151	150	151
Diámetro 2 (mm)	151	152	150	151	150	152
Altura 1 (mm)	302	303	302	301	302	299
Altura 2 (mm)	301	302	303	300	301	299
Altura 3 (mm)	301	302	302	301	301	298
Masa (Kg)	11,5	11,5	11,5	11,3	11,4	11,2
Altura promedio	301,33	302,33	302,33	300,67	301,33	298,67
Diámetro promedio (cm)	15,15	15,20	15,05	15,10	15,00	15,15
Área (mm ²)	18026,65	18145,84	17789,46	17907,86	17671,46	18026,65
Tipo de falla	V	V	V	V	V	V
Carga máx. (N)	359390	329400	341590	363300	351460	359860
Resistencia máxima (Kg/cm ²)	203,23	185,05	195,74	206,80	202,74	203,49
Resistencia promedio	199,51					
Desviación estándar	7,96					
Resistencia característica	188,84					

Fuente: Propia

5.3.1.5 Muestra sin modificar $f'c=280$ Kg/cm² (28 días de edad)

Tabla 5-21 Muestra sin modificar $f'c=280$ Kg/cm² (28 días de edad)

Obra:	Tesis	Ensayado por:	Gualle Carlos; Guayasamin Debbie
Esfuerzo esperado:	280 kg/cm ²	Calculado por:	Gualle Carlos; Guayasamin Debbie
Edad:	28 días	Aprobado por:	Geosoil Cía. Ltda.
% escamas:	0%	Fecha:	8/4/2022

Muestra	25	26	27	28	29	30
Fecha elaboración	11/3/2022	11/3/2022	11/3/2022	11/3/2022	11/3/2022	11/3/2022
Fecha de rotura	8/4/2022	8/4/2022	8/4/2022	8/4/2022	8/4/2022	8/4/2022
Edad del cilindro (días)	28	28	28	28	28	28
Diámetro 1 (mm)	151	152	150	151	151	152
Diámetro 2 (mm)	151	150	152	151	152	152
Altura 1 (mm)	300	304	302	304	306	304
Altura 2 (mm)	302	305	300	299	304	304
Altura 3 (mm)	300	301	302	300	300	302
Masa (Kg)	11,9	12	12,1	12	12,1	11,9
Altura promedio	300,67	303,33	301,33	301,00	303,33	303,33
Diámetro promedio (cm)	15,10	15,10	15,10	15,10	15,15	15,20
Área (mm ²)	17907,86	17907,86	17907,86	17907,86	18026,65	18145,84
Tipo de falla	V	V	V	V	V	V
Carga máx. (N)	542270	531220	528450	517360	521230	519670
Resistencia máxima (Kg/cm ²)	308,68	302,39	300,81	294,50	294,74	291,93
Resistencia promedio	298,84					
Desviación estándar	6,27					
Resistencia característica	290,44					

Fuente: Propia

5.3.1.6 Muestra modificada con escamas 3% $f'c=280$ Kg/cm² (28 días de edad)

Tabla 5-22 Muestra modificada con escamas 3% $f'c=280$ Kg/cm² (28 días de edad)

Obra:	Tesis	Ensayado por:	Gualle Carlos; Guayasamin Debbie
Esfuerzo esperado:	280 kg/cm ²	Calculado por:	Gualle Carlos; Guayasamin Debbie
Edad:	28 días	Aprobado por:	Geosoil Cía. Ltda.
% escamas:	3%	Fecha:	8/4/2022

Muestra	31	32	33	34	35	36
Fecha elaboración	11/3/2022	11/3/2022	11/3/2022	11/3/2022	11/3/2022	11/3/2022
Fecha de rotura	8/4/2022	8/4/2022	8/4/2022	8/4/2022	8/4/2022	8/4/2022
Edad del cilindro (días)	28	28	28	28	28	28
Diámetro 1 (mm)	151	150	152	151	152	152
Diámetro 2 (mm)	152	152	151	150	151	151
Altura 1 (mm)	300	305	300	301	306	304
Altura 2 (mm)	300	304	300	299	307	303
Altura 3 (mm)	301	305	301	300	307	303
Masa (Kg)	11,85	12,1	11,9	11,8	12,1	11,8
Altura promedio	300,33	304,67	300,33	300,00	306,67	303,33
Diámetro promedio (cm)	15,15	15,10	15,15	15,05	15,15	15,15
Área (mm ²)	18026,65	17907,86	18026,65	17789,46	18026,65	18026,65
Tipo de falla	V	V	V	V	V	V
Carga máx. (N)	550400	551710	563040	520170	545100	536450
Resistencia máxima (Kg/cm ²)	311,24	314,05	318,39	298,07	308,24	303,35
Resistencia promedio	308,89					
Desviación estándar	7,36					
Resistencia característica	299,03					

Fuente: Propia

5.3.1.7 Muestra modificada con escamas 5% $f'c=280$ Kg/cm² (28 días de edad)

Tabla 5-23 Muestra modificada con escamas 5% $f'c=280$ Kg/cm² (28 días de edad)

Obra:	Tesis	Ensayado por:	Gualle Carlos; Guayasamin Debbie
Esfuerzo esperado:	280 kg/cm ²	Calculado por:	Gualle Carlos; Guayasamin Debbie
Edad:	28 días	Aprobado por:	Geosoil Cía. Ltda.
% escamas:	5%	Fecha:	8/4/2022

Muestra	37	38	39	40	41	42
Fecha elaboración	11/3/2022	11/3/2022	11/3/2022	11/3/2022	11/3/2022	11/3/2022
Fecha de rotura	8/4/2022	8/4/2022	8/4/2022	8/4/2022	8/4/2022	8/4/2022
Edad del cilindro (días)	28	28	28	28	28	28
Diámetro 1 (mm)	152	151	151	151	150	152
Diámetro 2 (mm)	151	152	150	151	151	152
Altura 1 (mm)	301	300	300	302	301	301
Altura 2 (mm)	299	300	301	300	300	302
Altura 3 (mm)	300	301	302	300	300	302
Masa (Kg)	11,66	11,77	11,78	11,8	11,7	11,9
Altura promedio	300,00	300,33	301,00	300,67	300,33	301,67
Diámetro promedio (cm)	15,15	15,15	15,05	15,10	15,05	15,20
Área (mm ²)	18026,65	18026,65	17789,46	17907,86	17789,46	18145,84
Tipo de falla	V	V	V	V	V	V
Carga máx. (N)	465210	477110	492500	486580	479650	491200
Resistencia máxima (Kg/cm ²)	263,07	269,80	282,21	276,98	274,85	275,94
Resistencia promedio	273,81					
Desviación estándar	6,60					
Resistencia característica	264,96					

Fuente: Propia

5.3.1.8 Muestra modificada con escamas 7% $f'c=280$ Kg/cm² (28 días de edad)

Tabla 5-24 Muestra modificada con escamas 7% $f'c=280$ Kg/cm² (28 días de edad)

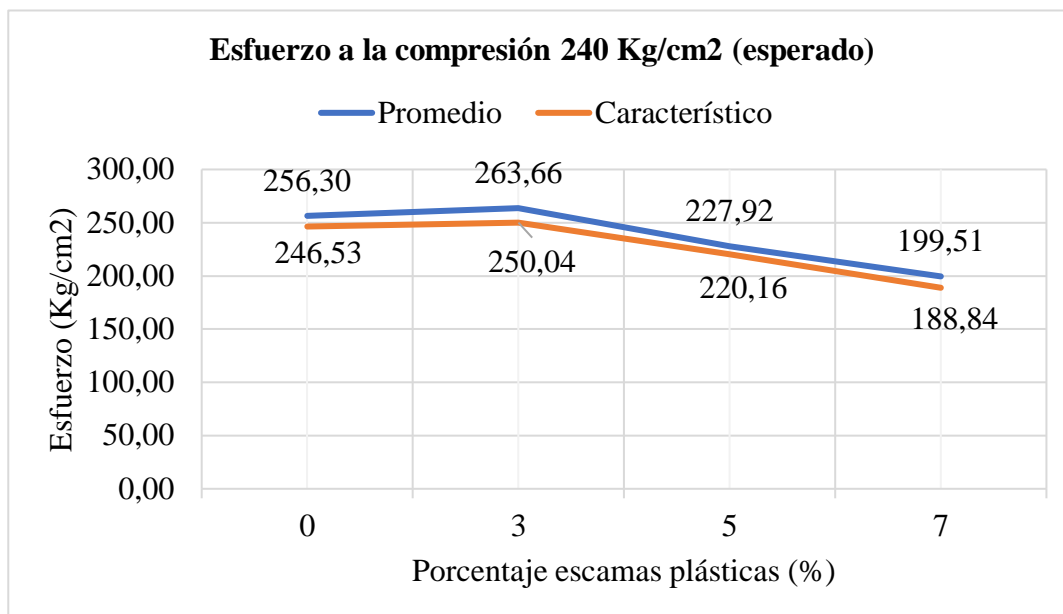
Obra:	Tesis	Ensayado por:	Gualle Carlos; Guayasamin Debbie
Esfuerzo esperado:	280 kg/cm ²	Calculado por:	Gualle Carlos; Guayasamin Debbie
Edad:	28 días	Aprobado por:	Geosoil Cía. Ltda.
% escamas:	7%	Fecha:	8/4/2022

Muestra	43	44	45	46	47	48
Fecha elaboración	11/3/2022	11/3/2022	11/3/2022	11/3/2022	11/3/2022	11/3/2022
Fecha de rotura	8/4/2022	8/4/2022	8/4/2022	8/4/2022	8/4/2022	8/4/2022
Edad del cilindro (días)	28	28	28	28	28	28
Diámetro 1 (mm)	151	151	152	150	150	150
Diámetro 2 (mm)	151	151	151	151	151	149
Altura 1 (mm)	301	304	302	303	302	301
Altura 2 (mm)	301	305	303	303	305	300
Altura 3 (mm)	300	304	302	304	306	299
Masa (Kg)	11,52	11,8	11,5	11,6	11,7	11,3
Altura promedio	300,67	304,33	302,33	303,33	304,33	300,00
Diámetro promedio (cm)	15,10	15,10	15,15	15,05	15,05	14,95
Área (mm ²)	17907,86	17907,86	18026,65	17789,46	17789,46	17553,85
Tipo de falla	V	V	V	V	V	V
Carga máx. (N)	423300	411660	429620	416620	409350	431140
Resistencia máxima (Kg/cm ²)	240,95	234,33	242,94	238,73	234,56	250,37
Resistencia promedio	240,31					
Desviación estándar	6,00					
Resistencia característica	232,28					

Fuente: Propia

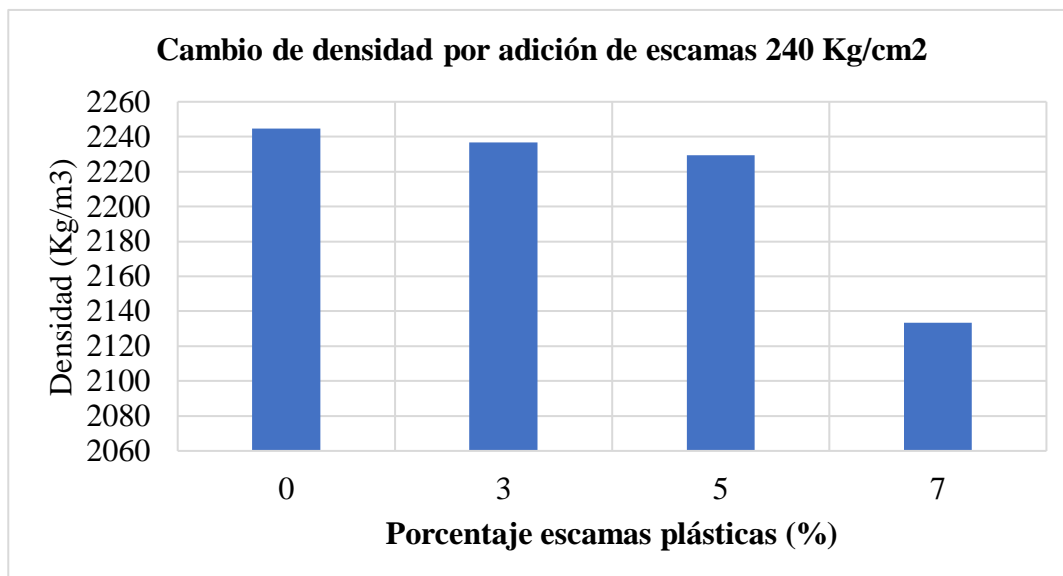
5.3.1.9 Resumen resistencia a la compresión de cilindros

Ilustración 5-3 Esfuerzo a la compresión 240 Kg/cm² (esperado)

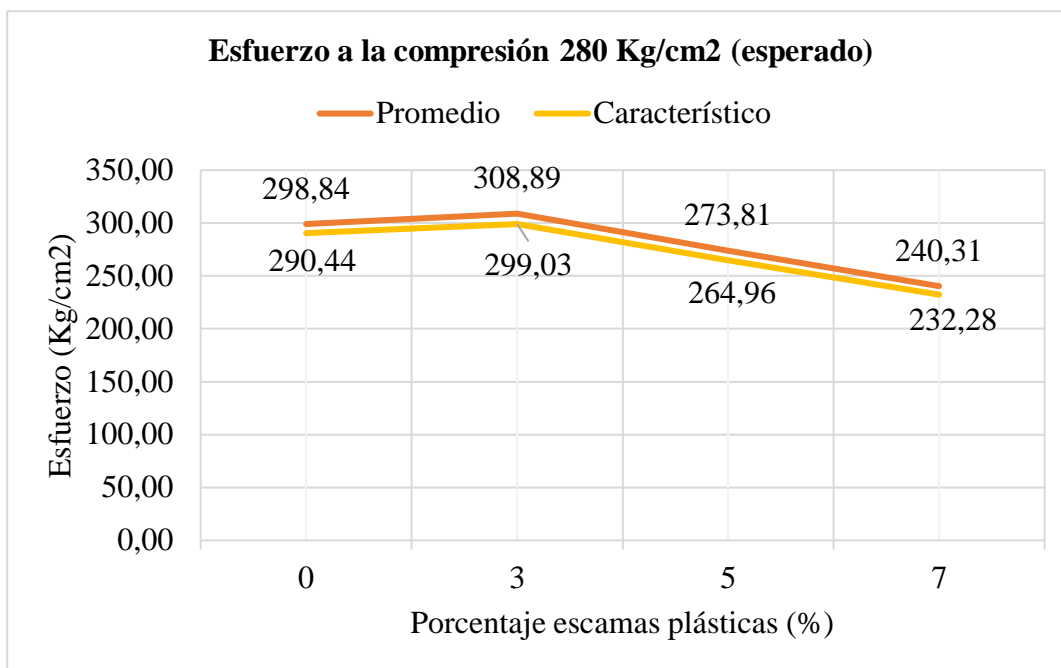


Fuente: Propia

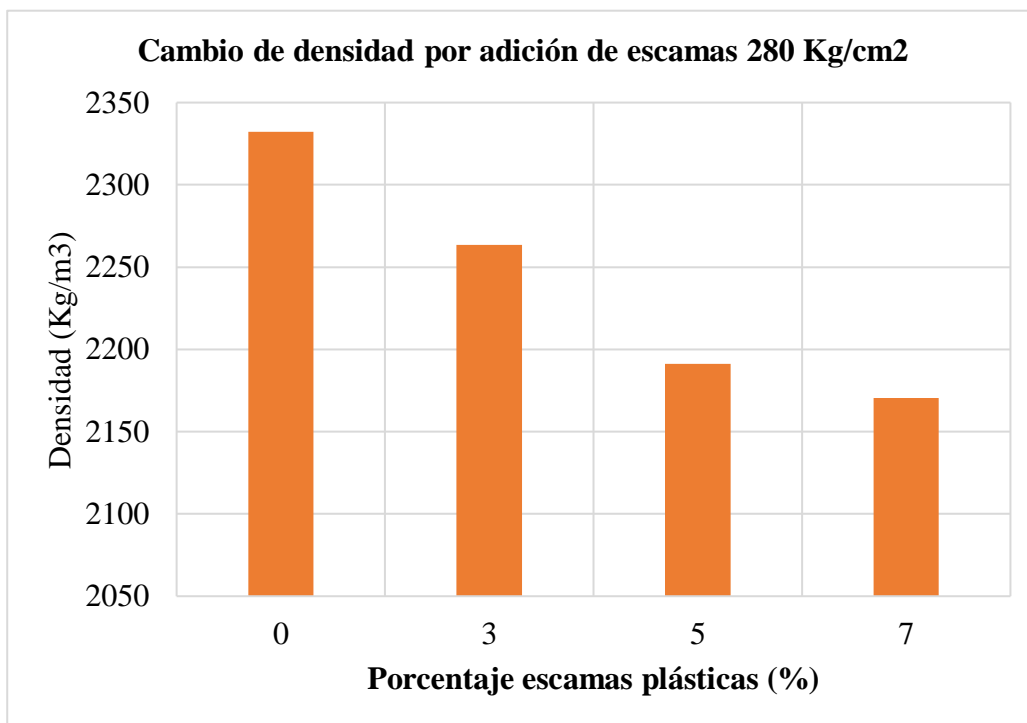
Ilustración 5-4 Cambio de densidad por adición de escamas 240 Kg/cm²



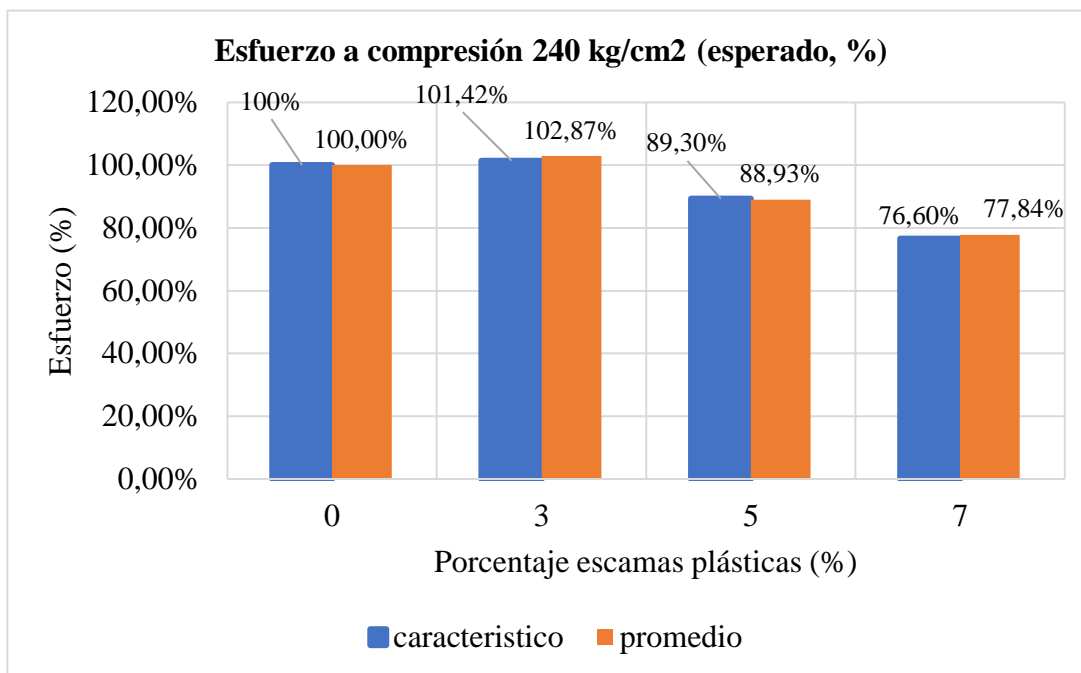
Fuente: Propia

Ilustración 5-5 Esfuerzo a la compresión 280 Kg/cm² (esperado)

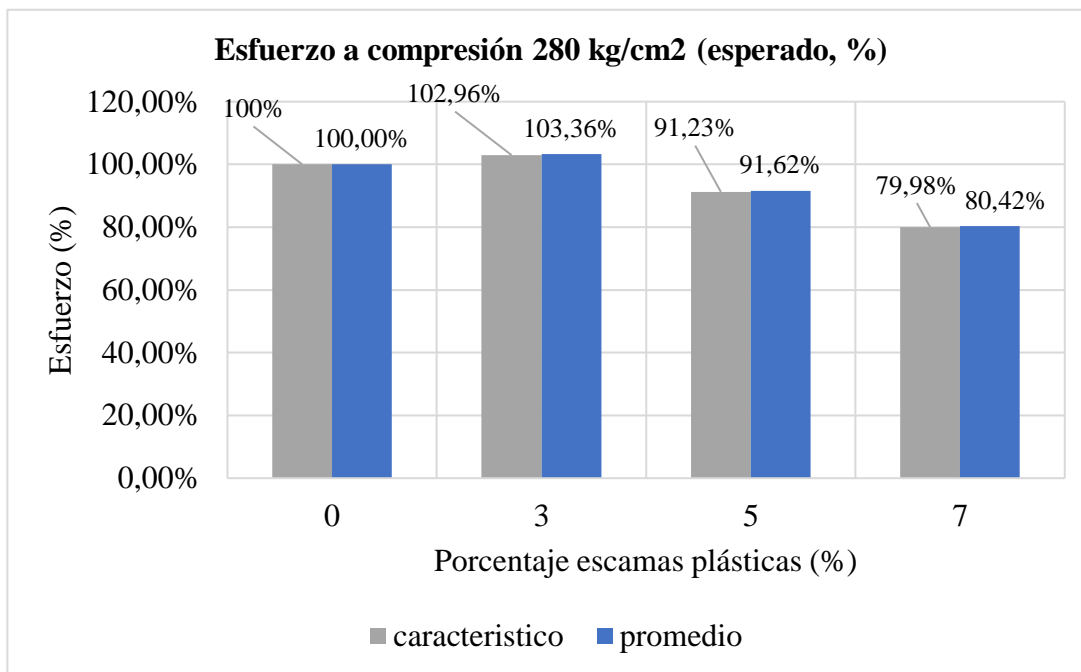
Fuente: Propia

Ilustración 5-6 Cambio de densidad por adición de escamas 280 Kg/cm²

Fuente: Propia

Ilustración 5-7 Esfuerzo a compresión 240 kg/cm² (esperado, %)

Fuente: Propia

Ilustración 5-8 Esfuerzo a compresión 280 kg/cm² (esperado, %)

Fuente: Propia

5.3.2 Resistencia a la flexión de viguetas (ASTM C 78)

5.3.2.1 Muestra sin modificar $f'c= 240 \text{ Kg/cm}^2$ (28 días de edad)

Tabla 5-25 Muestra sin modificar $f'c= 240 \text{ Kg/cm}^2$ (28 días de edad)

Obra:	Tesis	Ensayado por:	Gualle Carlos; Guayasamín Debbie
Esfuerzo esperado:	240kg/cm ²	Calculado por:	Gualle Carlos; Guayasamín Debbie
Edad:	28 días	Aprobado por:	Geosoil Cía. Ltda.
% escamas:	0%	Fecha:	7/4/2022

Muestra	49	50	51	52
Fecha de elaboración	10/3/2022	10/3/2022	10/3/2022	10/3/2022
Fecha de ensayo	7/4/2022	7/4/2022	7/4/2022	7/4/2022
Edad de la vigueta (días)	28	28	28	28
Longitud (mm)	543	535	542	540
Luz libre (mm)	450	450	450	450
Ancho (mm)	153	152	152	152
Altura (mm)	150	152	151	151
Masa (kg)	27,1	27,2	27,3	27,2
Carga máxima (N)	28890	29010	30160	30350
Módulo de rotura (Kg/cm²)	38,50	37,89	39,92	40,08
Módulo de rotura promedio	39,10			
Desviación estándar	1,07			
Resistencia característica	37,66			

Fuente: Propia

5.3.2.2 Muestra modificada con escamas 3% $f'c= 240 \text{ Kg/cm}^2$ (28 días de edad)

Tabla 5-26 Muestra modificada con escamas 3% $f'c= 240 \text{ Kg/cm}^2$ (28 días de edad)

Obra:	Tesis	Ensayado por:	Gualle Carlos; Guayasamín Debbie
Esfuerzo esperado:	240kg/cm ²	Calculado por:	Gualle Carlos; Guayasamín Debbie
Edad:	28 días	Aprobado por:	Geosoil Cía. Ltda.
% escamas:	3%	Fecha:	7/4/2022

Muestra	53	54	55	56
Fecha de elaboración	10/3/2022	10/3/2022	10/3/2022	10/3/2022
Fecha de ensayo	7/4/2022	7/4/2022	7/4/2022	7/4/2022
Edad de la vigueta (días)	28	28	28	28
Longitud (mm)	545	540	541	542
Luz libre (mm)	450	450	450	450
Ancho (mm)	151	152	151	151
Altura (mm)	150	150	152	151
Masa (kg)	26,1	26,1	26,8	26,3
Carga máxima (N)	29770	29380	31390	31180
Módulo de rotura (Kg/cm²)	40,19	39,41	41,27	41,63
Módulo de rotura promedio	40,63			
Desviación estándar	1,02			
Resistencia característica	39,26			

Fuente: Propia

5.3.2.3 Muestra modificada con escamas 5% $f'c=240$ Kg/cm² (28 días de edad)

Tabla 5-27 Muestra modificada con escamas 5% $f'c=240$ Kg/cm² (28 días de edad)

Obra:	Tesis	Ensayado por:	Gualle Carlos; Guayasamín Debbie
Esfuerzo esperado:	240Kg/cm ²	Calculado por:	Gualle Carlos; Guayasamín Debbie
Edad:	28 días	Aprobado por:	Geosoil Cía. Ltda.
% escamas:	5%	Fecha:	7/4/2022

Muestra	57	58	59	60
Fecha de elaboración	10/3/2022	10/3/2022	10/3/2022	10/3/2022
Fecha de ensayo	7/4/2022	7/4/2022	7/4/2022	7/4/2022
Edad de la vigueta (días)	28	28	28	28
Longitud (mm)	537	541	540	539
Luz libre (mm)	450	450	450	450
Ancho (mm)	153	152	152	152
Altura (mm)	150	152	151	151
Masa (kg)	27,1	27,2	27,3	27,2
Carga máxima (N)	28720	27420	25090	28080
Módulo de rotura (Kg/cm²)	38,27	35,82	33,21	37,08
Módulo de rotura promedio	36,09			
Desviación estándar	2,17			
Resistencia característica	33,19			

Fuente: Propia

5.3.2.4 Muestra modificada con escamas 7% $f'c=240$ Kg/cm² (28 días de edad)

Tabla 5-28 Muestra modificada con escamas 7% $f'c=240$ Kg/cm² (28 días de edad)

Obra:	Tesis	Ensayado por:	Gualle Carlos; Guayasamín Debbie
Esfuerzo esperado:	240Kg/cm ²	Calculado por:	Gualle Carlos; Guayasamín Debbie
Edad:	28 días	Aprobado por:	Geosoil Cía. Ltda.
% escamas:	7%	Fecha:	7/4/2022

Muestra	61	62	63	64
Fecha de elaboración	10/3/2022	10/3/2022	10/3/2022	10/3/2022
Fecha de ensayo	7/4/2022	7/4/2022	7/4/2022	7/4/2022
Edad de la vigueta (días)	28	28	28	28
Longitud (mm)	538	540	357	478
Luz libre (mm)	450	450	450	450
Ancho (mm)	150	150	150	150
Altura (mm)	150	152	149	150
Masa (kg)	25,7	26,2	25,5	25,8
Carga máxima (N)	21110	23380	21930	23140
Módulo de rotura (Kg/cm²)	28,69	30,95	30,21	31,31
Módulo de rotura promedio	30,29			
Desviación estándar	1,16			
Resistencia característica	28,74			

Fuente: Propia

5.3.2.5 Muestra sin modificar $f'c=280 \text{ Kg/cm}^2$ (28 días de edad)

Tabla 5-29 Muestra sin modificar $f'c=280 \text{ Kg/cm}^2$ (28 días de edad)

Obra:	Tesis	Ensayado por:	Gualle Carlos; Guayasamín Debbie
Esfuerzo esperado:	280Kg/cm ²	Calculado por:	Gualle Carlos; Guayasamín Debbie
Edad:	28 días	Aprobado por:	Geosoil Cía. Ltda.
% escamas:	0%	Fecha:	8/4/2022

Muestra	65	66	67	68
Fecha de elaboración	11/3/2022	11/3/2022	11/3/2022	11/3/2022
Fecha de ensayo	8/4/2022	8/4/2022	8/4/2022	8/4/2022
Edad de la vigueta (días)	28	28	28	28
Longitud (mm)	542	540	535	539
Luz libre (mm)	450	450	450	450
Ancho (mm)	151	150	151	151
Altura (mm)	151	152	150	151
Masa (kg)	26,8	25,4	25,6	25,9
Carga máxima (N)	33010	32100	34680	35260
Módulo de rotura (Kg/cm²)	43,98	42,49	46,82	47,08
Módulo de rotura promedio	45,09			
Desviación estándar	2,23			
Resistencia característica	42,10			

Fuente: Propia

5.3.2.6 Muestra modificada con escamas 3% $f'c=280$ Kg/cm² (28 días de edad)

Tabla 5-30 Muestra modificada con escamas 3% $f'c=280$ Kg/cm² (28 días de edad)

Obra:	Tesis	Ensayado por:	Gualle Carlos; Guayasamín Debbie
Esfuerzo esperado:	280Kg/cm ²	Calculado por:	Gualle Carlos; Guayasamín Debbie
Edad:	28 días	Aprobado por:	Geosoil Cía. Ltda.
% escamas:	3%	Fecha:	8/4/2022

Muestra	69	70	71	72
Fecha de elaboración	11/3/2022	11/3/2022	11/3/2022	11/3/2022
Fecha de ensayo	8/4/2022	8/4/2022	8/4/2022	8/4/2022
Edad de la vigueta (días)	28	28	28	28
Longitud (mm)	539	536	544	540
Luz libre (mm)	450	450	450	450
Ancho (mm)	150	150	150	150
Altura (mm)	150	150	150	150
Masa (kg)	25,7	26,1	26,3	26,0
Carga máxima (N)	34530	32850	35100	36160
Módulo de rotura (Kg/cm²)	46,93	44,65	47,71	49,15
Módulo de rotura promedio	47,11			
Desviación estándar	1,88			
Resistencia característica	44,59			

Fuente: Propia

5.3.2.7 Muestra modificada con escamas 5% $f'c=280 \text{ Kg/cm}^2$ (28 días de edad)

Tabla 5-31 Muestra modificada con escamas 5% $f'c=280 \text{ Kg/cm}^2$ (28 días de edad)

Obra:	Tesis	Ensayado por:	Gualle Carlos; Guayasamín Debbie
Esfuerzo esperado:	280Kg/cm ²	Calculado por:	Gualle Carlos; Guayasamín Debbie
Edad:	28 días	Aprobado por:	Geosoil Cía. Ltda.
% escamas:	5%	Fecha:	8/4/2022

Muestra	73	74	75	76
Fecha de elaboración	11/3/2022	11/3/2022	11/3/2022	11/3/2022
Fecha de ensayo	8/4/2022	8/4/2022	8/4/2022	8/4/2022
Edad de la vigueta (días)	28	28	28	28
Longitud (mm)	542	540	542	541
Luz libre (mm)	450	450	450	450
Ancho (mm)	150	150	150	150
Altura (mm)	150	153	150	151
Masa (kg)	26	26,5	26,2	26,2
Carga máxima (N)	28500	30910	28480	31300
Módulo de rotura (Kg/cm²)	38,74	40,38	38,71	41,98
Módulo de rotura promedio	39,95			
Desviación estándar	1,56			
Resistencia característica	37,86			

Fuente: Propia

5.3.2.8 Muestra modificada con escamas 7% $f'c=280 \text{ Kg/cm}^2$ (28 días de edad)

Tabla 5-32 Muestra modificada con escamas 7% $f'c=280 \text{ Kg/cm}^2$ (28 días de edad)

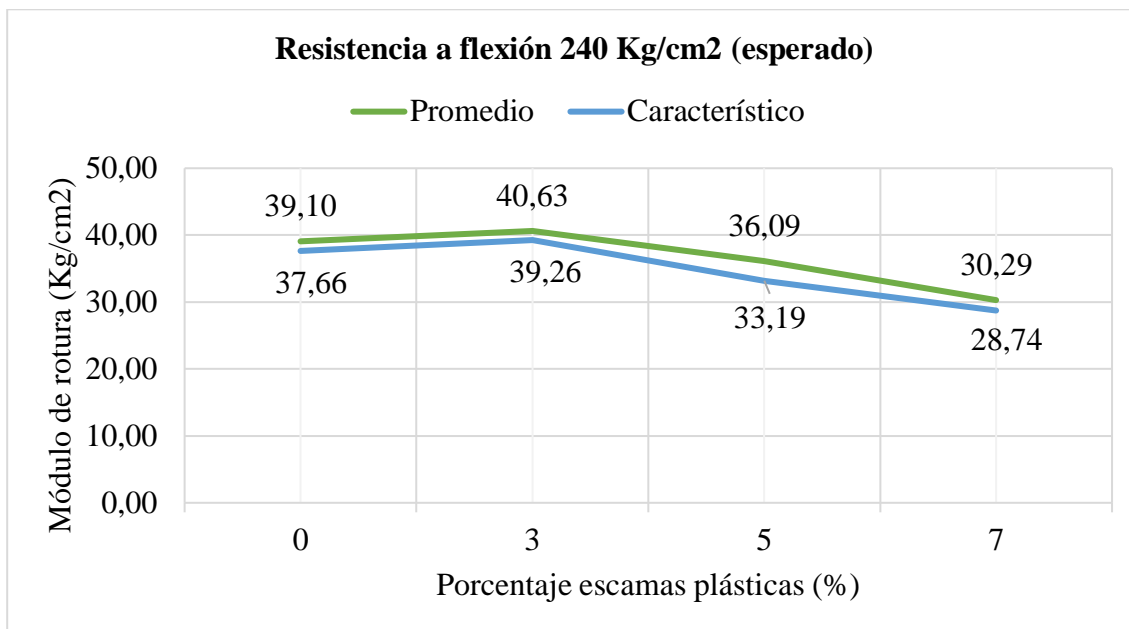
Obra:	Tesis	Ensayado por:	Gualle Carlos; Guayasamín Debbie
Esfuerzo esperado:	280Kg/cm ²	Calculado por:	Gualle Carlos; Guayasamín Debbie
Edad:	28 días	Aprobado por:	Geosoil Cía. Ltda.
% escamas:	7%	Fecha:	8/4/2022

Muestra	77	78	79	80
Fecha de elaboración	11/3/2022	11/3/2022	11/3/2022	11/3/2022
Fecha de ensayo	8/4/2022	8/4/2022	8/4/2022	8/4/2022
Edad de la vigueta (días)	28	28	28	28
Longitud (mm)	540	535	537	537
Luz libre (mm)	450	450	450	450
Ancho (mm)	150	151	150	150
Altura (mm)	152	150	151	151
Masa (kg)	25,6	25,4	25,6	25,5
Carga máxima (N)	26280	27020	25910	28400
Módulo de rotura (Kg/cm²)	34,78	36,48	34,75	38,01
Módulo de rotura promedio	36,01			
Desviación estándar	1,56			
Resistencia característica	33,92			

Fuente: Propia

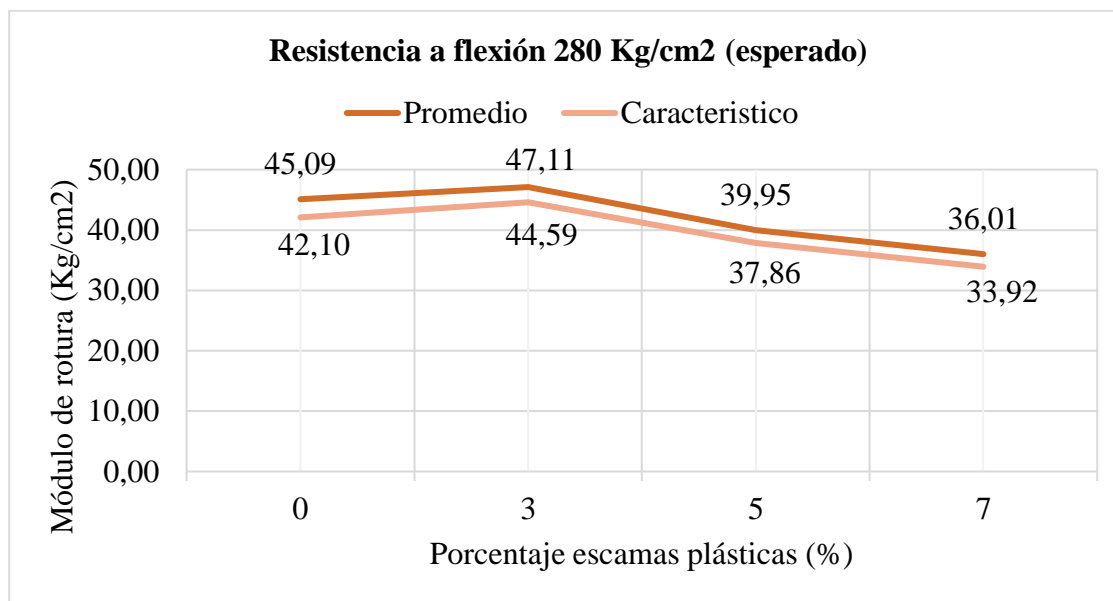
5.3.2.9 Resumen resistencia a la flexión de viguetas

Ilustración 5-9 Resistencia a flexión 240 Kg/cm² (esperado)

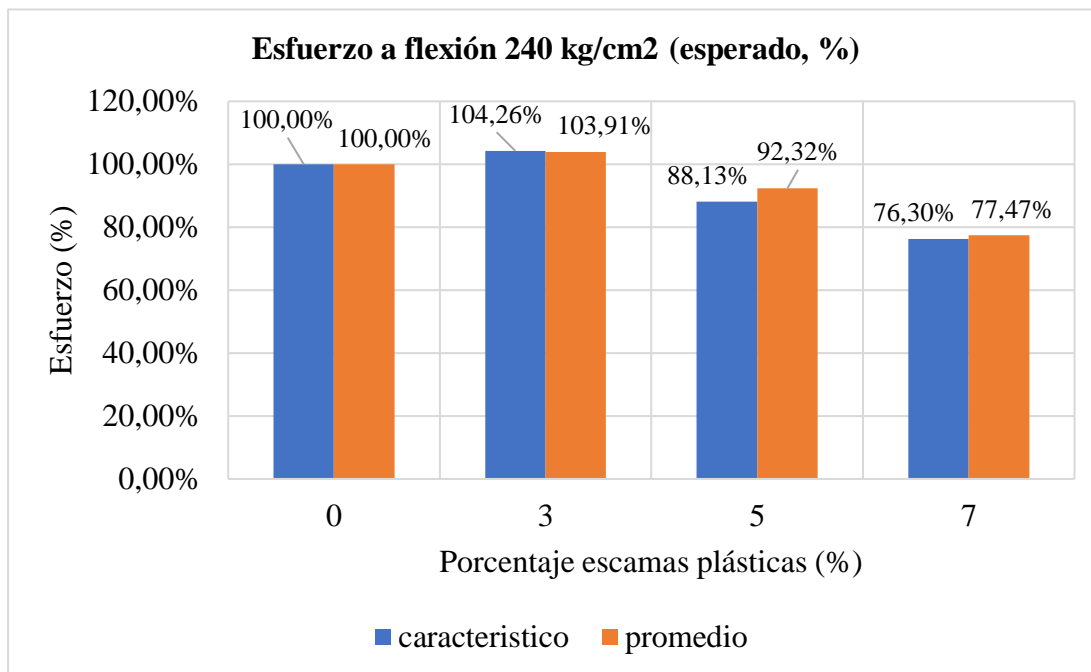


Fuente: Propia

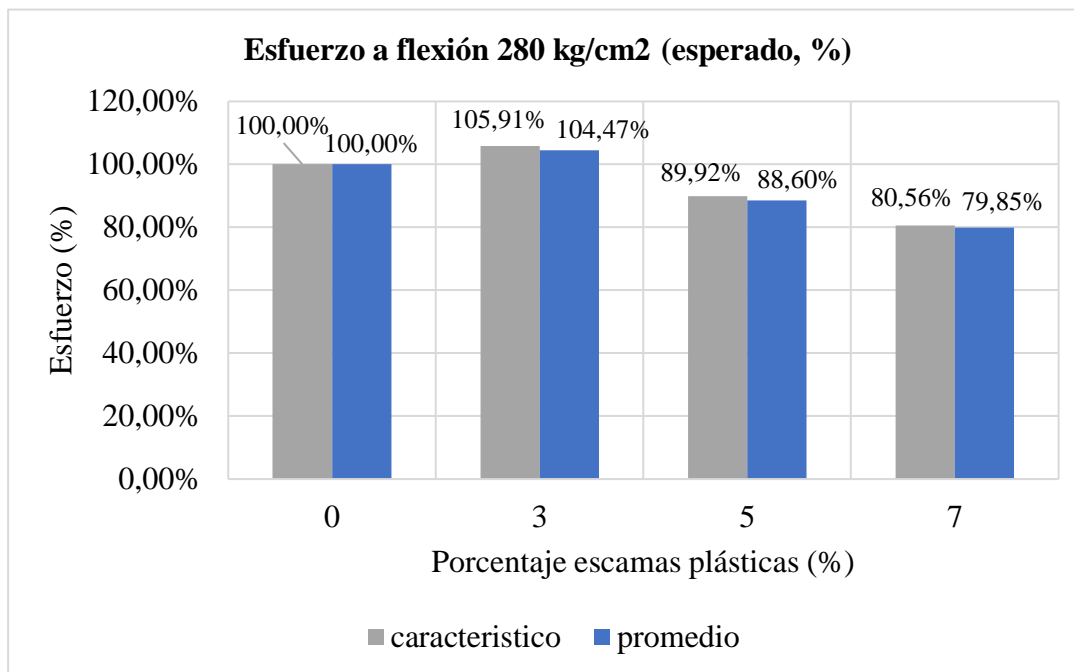
Ilustración 5-10 Resistencia a flexión 280 Kg/cm² (esperado)



Fuente: Propia

Ilustración 5-11 Esfuerzo a flexión 240 kg/cm² (esperado, %)

Fuente: Propia

Ilustración 5-12 Esfuerzo a flexión 280 kg/cm² (esperado, %)

Fuente: Propia

Tabla 5-33 Relación de flexión respecto a compresión

Relación de flexión respecto a compresión				
% escamas	0	3	5	7
F'c 240 Kg/cm²	15,28%	15,70%	15,07%	15,22%
F'c 280 Kg/cm²	14,50%	14,91%	14,29%	14,60%

Fuente: Propia

5.3.3 Módulo de elasticidad (ASTM C 469)

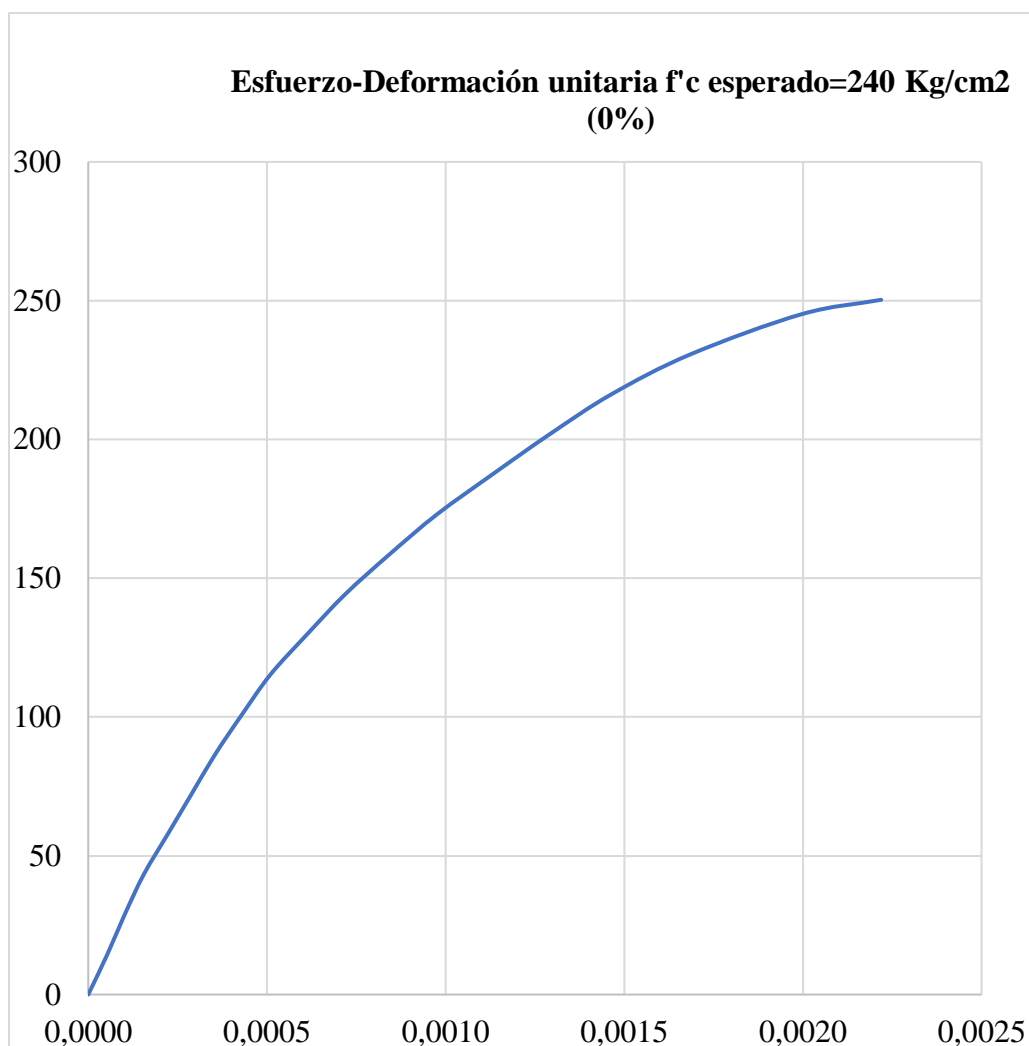
5.3.3.1 Muestra sin modificar $f'c= 240 \text{ Kg/cm}^2$ (28 días de edad)

Tabla 5-34 Muestra sin modificar $f'c= 240 \text{ Kg/cm}^2$ (28 días de edad)

Obra:	Tesis	Ensayado por:	Gualle Carlos; Guayasamín Debbie
Esfuerzo esperado:	240Kg/cm ²	Calculado por:	Gualle Carlos; Guayasamín Debbie
Edad:	28 días	Aprobado por:	Geosoil Cía. Ltda.
% escamas:	0%	Fecha:	7/4/2022

Esfuerzo	Deformación Unitaria
Kg/cm ²	mm/mm
0	0,00000000
14,42	0,00005326
28,84	0,00010208
43,26	0,00015534
57,68	0,00022191
72,11	0,00028848
86,53	0,00035505
100,95	0,00043050
115,37	0,00051039
129,79	0,00061247
144,21	0,00071899
158,63	0,00084325
173,05	0,00097640
187,47	0,00113174
201,90	0,00129151
216,32	0,00146460
230,74	0,00168651
245,16	0,00199718
250,33	0,00221909

Fuente: Propia

Ilustración 5-13 Esfuerzo-Deformación unitaria $f'_c=240 \text{ Kg/cm}^2$ (0%)

Fuente: Propia

Tabla 5-35 Resultado módulo de elasticidad $f'_c=240 \text{ Kg/cm}^2$ (0%)

Peso unitario (Ton/m³)	2,24
F'c (Kg/cm²)	250,33
Ecm (Kg/cm²)	230453,8
α	14566

Fuente: Propia

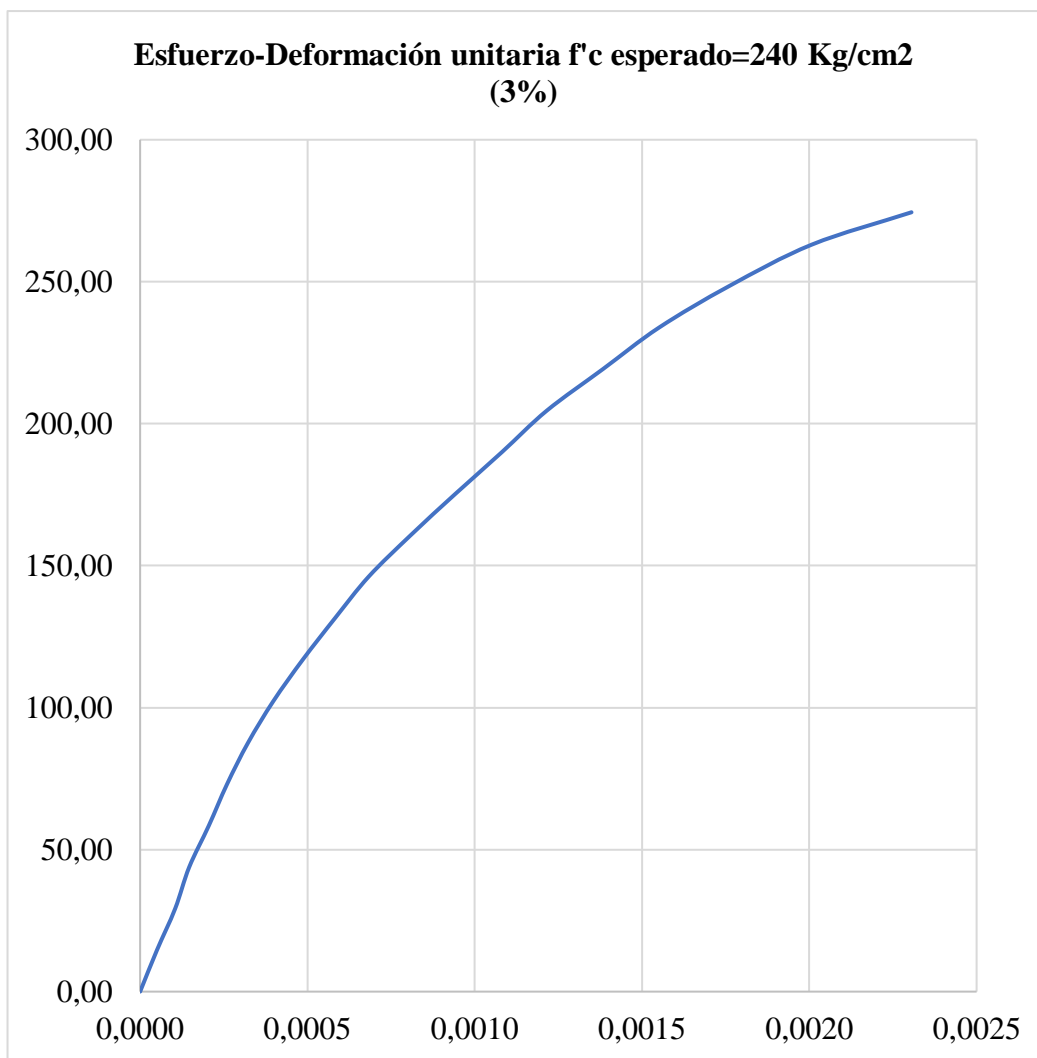
5.3.3.2 Muestra modificada con escamas 3% $f'c= 240 \text{ Kg/cm}^2$ (28 días de edad)

Tabla 5-36 Muestra modificada con escamas 3% $f'c= 240 \text{ Kg/cm}^2$ (28 días de edad)

Obra:	Tesis	Ensayado por:	Gualle Carlos; Guayasamín Debbie
Esfuerzo esperado:	240Kg/cm ²	Calculado por:	Gualle Carlos; Guayasamín Debbie
Edad:	28 días	Aprobado por:	Geosoil Cía. Ltda.
% escamas:	3%	Fecha:	7/4/2022

Esfuerzo	Deformación Unitaria
Kg/cm ²	mm/mm
0,00	0,00000000
14,62	0,00005030
29,23	0,00010479
43,85	0,00014671
58,46	0,00020539
73,08	0,00025988
87,69	0,00032275
102,31	0,00039820
116,92	0,00048623
131,54	0,00058263
146,15	0,00068323
160,77	0,00080898
175,38	0,00094311
190,00	0,00108144
204,61	0,00121557
219,23	0,00138323
233,85	0,00155090
248,46	0,00176048
263,08	0,00200778
274,46	0,00230539

Fuente: Propia

Ilustración 5-14 Esfuerzo-Deformación unitaria $f'_c=240 \text{ Kg/cm}^2$ (3%)

Fuente: Propia

Tabla 5-37 Resultado módulo de elasticidad $f'_c=240 \text{ Kg/cm}^2$ (3%)

Peso unitario (Ton/m³)	2,24
F'c (Kg/cm²)	274,46
Ecm (Kg/cm²)	242387,8
α	14631

Fuente: Propia

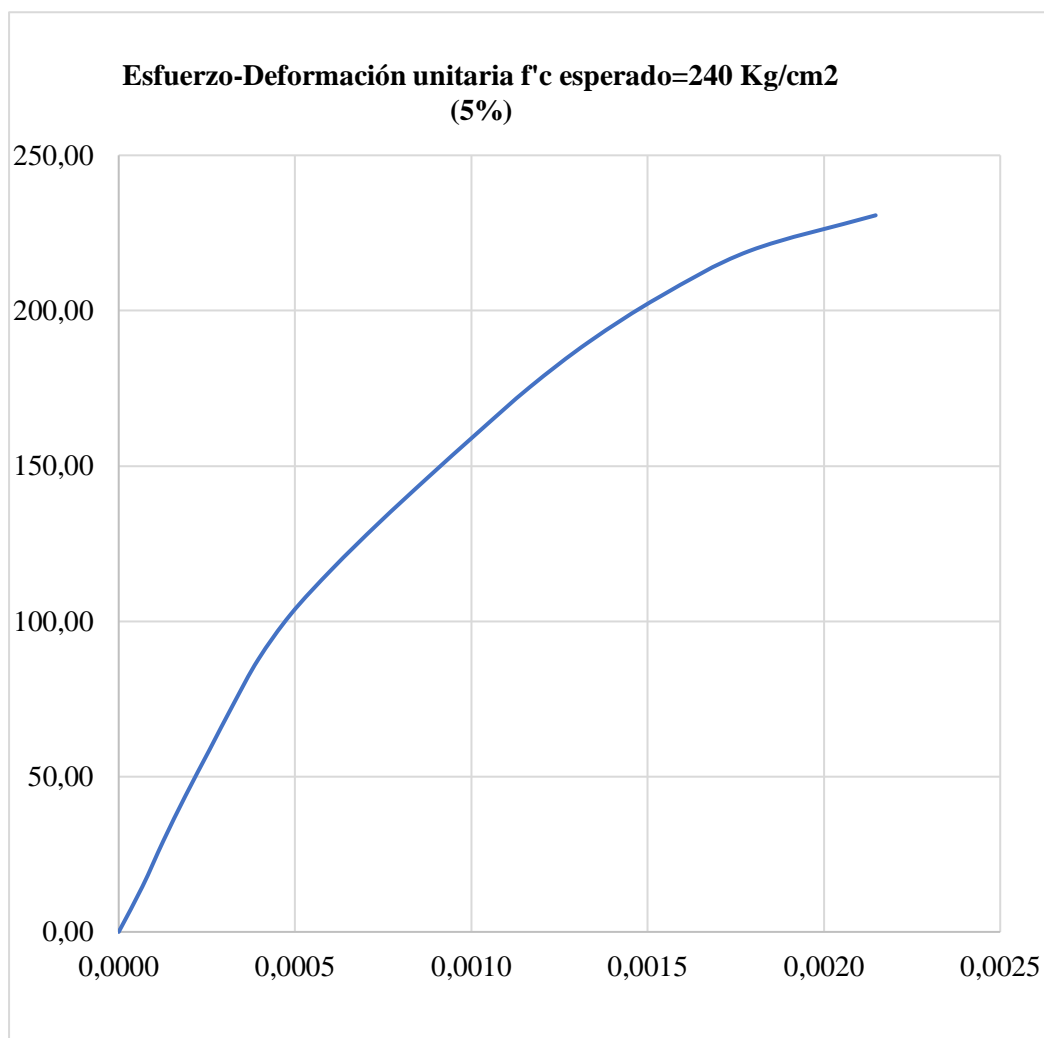
5.3.3.3 Muestra modificada con escamas 5% $f'c=240$ Kg/cm² (28 días de edad)

Tabla 5-38 Muestra modificada con escamas 5% $f'c=240$ Kg/cm² (28 días de edad)

Obra:	Tesis	Ensayado por:	Gualle Carlos; Guayasamín Debbie
Esfuerzo esperado:	240Kg/cm ²	Calculado por:	Gualle Carlos; Guayasamín Debbie
Edad:	28 días	Aprobado por:	Geosoil Cía. Ltda.
% escamas:	5%	Fecha:	7/4/2022

Esfuerzo	Deformación Unitaria
Kg/cm ²	mm/mm
0,00	0,00000000
14,62	0,00006735
29,23	0,00012628
43,85	0,00018942
58,46	0,00025677
73,08	0,00032412
87,69	0,00039567
102,31	0,00048828
116,92	0,00060614
131,54	0,00073663
146,15	0,00087554
160,77	0,00101865
175,38	0,00116598
190,00	0,00133435
204,61	0,00153640
219,23	0,00178895
230,69	0,00214674

Fuente: Propia

Ilustración 5-15 Esfuerzo-Deformación unitaria $f'_c=240 \text{ Kg/cm}^2$ (5%)

Fuente: Propia

Tabla 5-39 Resultado módulo de elasticidad $f'_c=240 \text{ Kg/cm}^2$ (5%)

Peso unitario (Ton/m³)	2,23
F'c (Kg/cm²)	230,69
Ecm (Kg/cm²)	217432,69
α	14316

Fuente: Propia

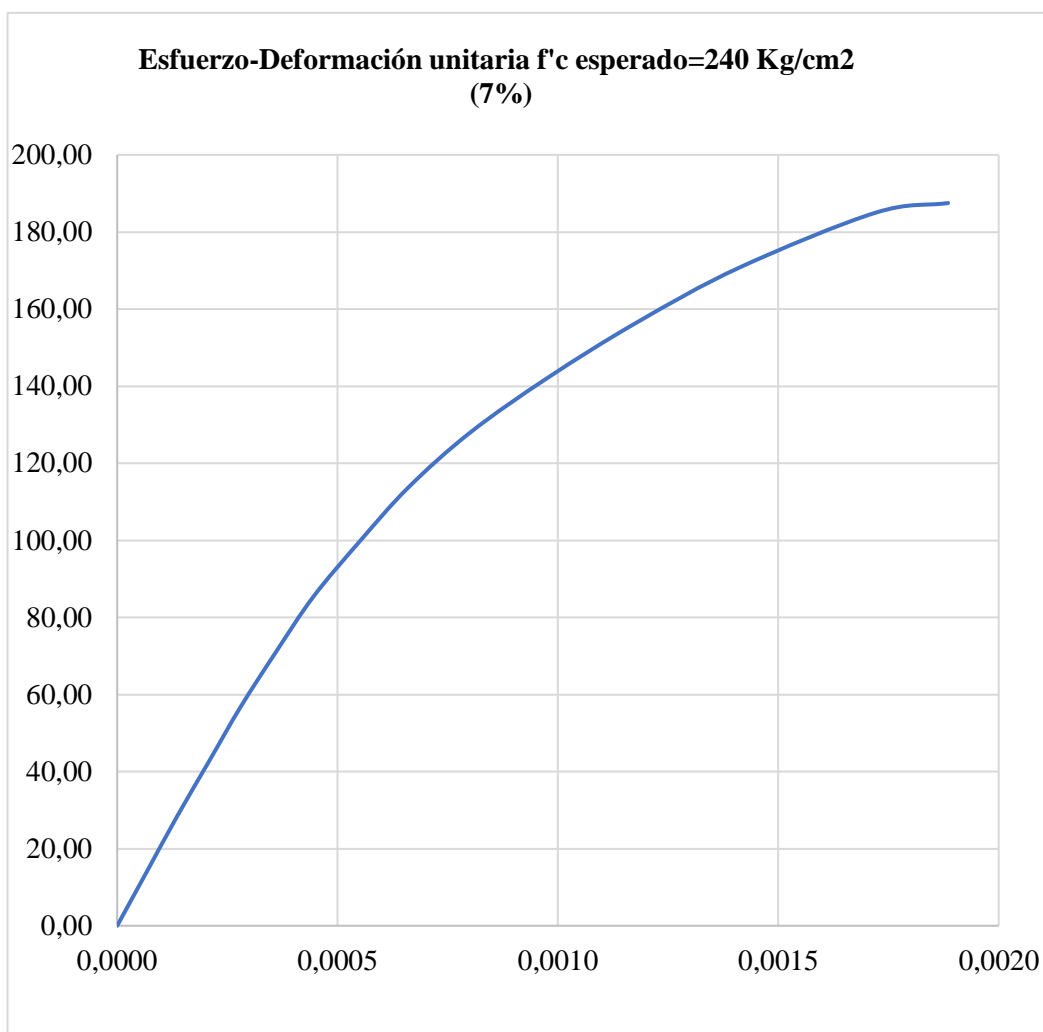
5.3.3.4 Muestra modificada con escamas 7% $f'c=240$ Kg/cm² (28 días de edad)

Tabla 5-40 Muestra modificada con escamas 7% $f'c=240$ Kg/cm² (28 días de edad)

Obra:	Tesis	Ensayado por:	Gualle Carlos; Guayasamín Debbie
Esfuerzo esperado:	240Kg/cm ²	Calculado por:	Gualle Carlos; Guayasamín Debbie
Edad:	28 días	Aprobado por:	Geosoil Cía. Ltda.
% escamas:	7%	Fecha:	7/4/2022

Esfuerzo	Deformación Unitaria
Kg/cm ²	mm/mm
0,00	0,00000000
14,23	0,00006819
28,46	0,00013637
42,69	0,00020857
56,92	0,00028077
71,15	0,00036098
85,38	0,00044521
99,62	0,00054950
113,85	0,00066181
128,08	0,00080219
142,31	0,00097867
156,54	0,00117922
170,77	0,00141185
185,00	0,00172069
187,50	0,00188514

Fuente: Propia

Ilustración 5-16 Esfuerzo-Deformación unitaria $f'_c=240 \text{ Kg/cm}^2$ (7%)

Fuente: Propia

Tabla 5-41 Resultado módulo de elasticidad $f'_c=240 \text{ Kg/cm}^2$ (7%)

Peso unitario (Ton/m³)	2,13
F'_c (Kg/cm²)	187,50
E_{cm} (Kg/cm²)	193571,21
α	14136

Fuente: Propia

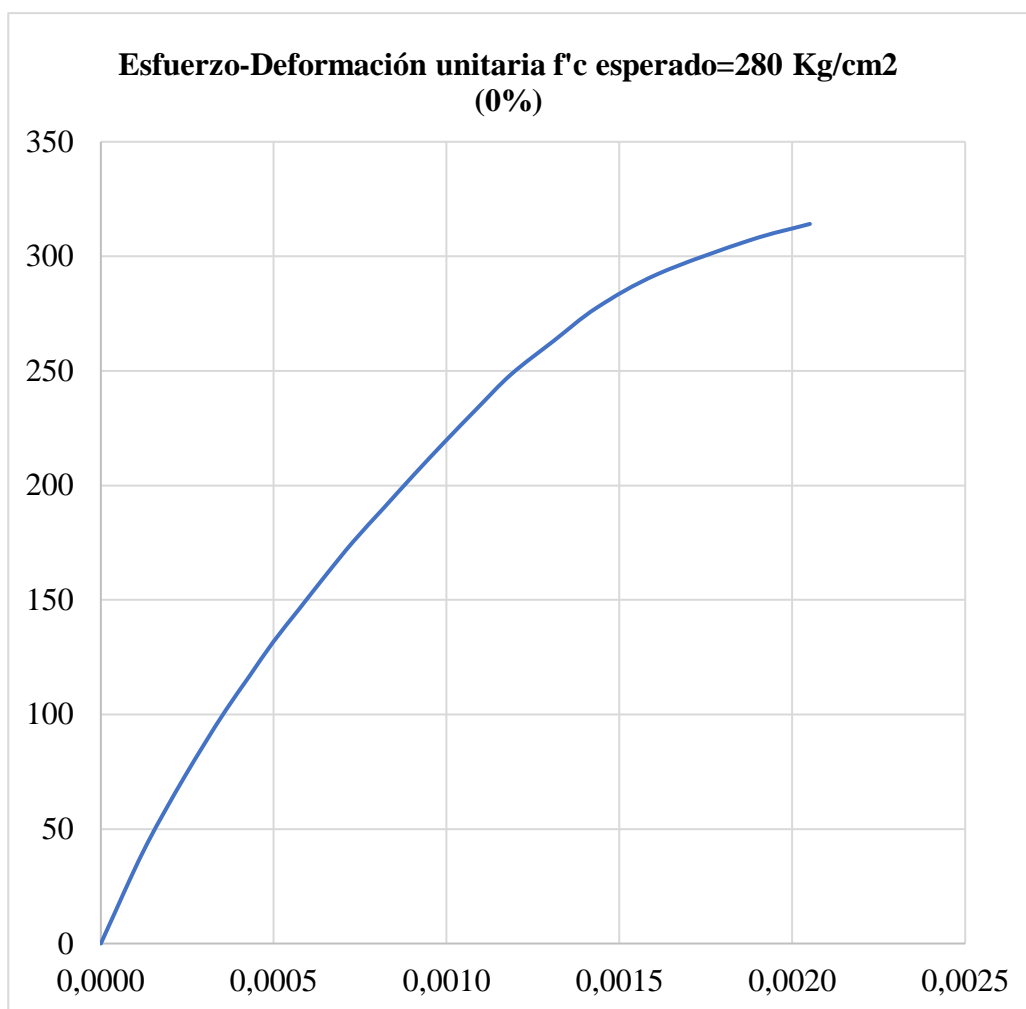
5.3.3.5 Muestra sin modificar $f'c=280 \text{ Kg/cm}^2$ (28 días de edad)

Tabla 5-42 Muestra sin modificar $f'c=280 \text{ Kg/cm}^2$ (28 días de edad)

Obra:	Tesis	Ensayado por:	Gualle Carlos; Guayasamín Debbie
Esfuerzo esperado:	280Kg/cm ²	Calculado por:	Gualle Carlos; Guayasamín Debbie
Edad:	28 días	Aprobado por:	Geosoil Cía. Ltda.
% escamas:	0%	Fecha:	8/4/2022

Esfuerzo	Deformación Unitaria
Kg/cm ²	mm/mm
0	0,00000000
14,62	0,00004395
29,23	0,00008789
43,85	0,00013477
58,46	0,00018750
73,08	0,00024317
87,69	0,00030177
102,31	0,00036329
116,92	0,00043068
131,54	0,00049806
146,15	0,00057423
160,77	0,00065041
175,38	0,00072951
190,00	0,00081740
204,61	0,00090530
219,23	0,00099612
233,85	0,00108987
248,46	0,00118655
263,08	0,00130960
277,69	0,00143558
292,31	0,00161137
306,92	0,00187505
314,15	0,00205083

Fuente: Propia

Ilustración 5-17 Esfuerzo-Deformación unitaria $f'_c=280 \text{ Kg/cm}^2$ (0%)

Fuente: Propia

Tabla 5-43 Resultado módulo de elasticidad $f'_c=280 \text{ Kg/cm}^2$ (0%)

Peso unitario (Ton/m³)	2,33
F'c (Kg/cm²)	314,15
Ecm (Kg/cm²)	259168,18
α	14622

Fuente: Propia

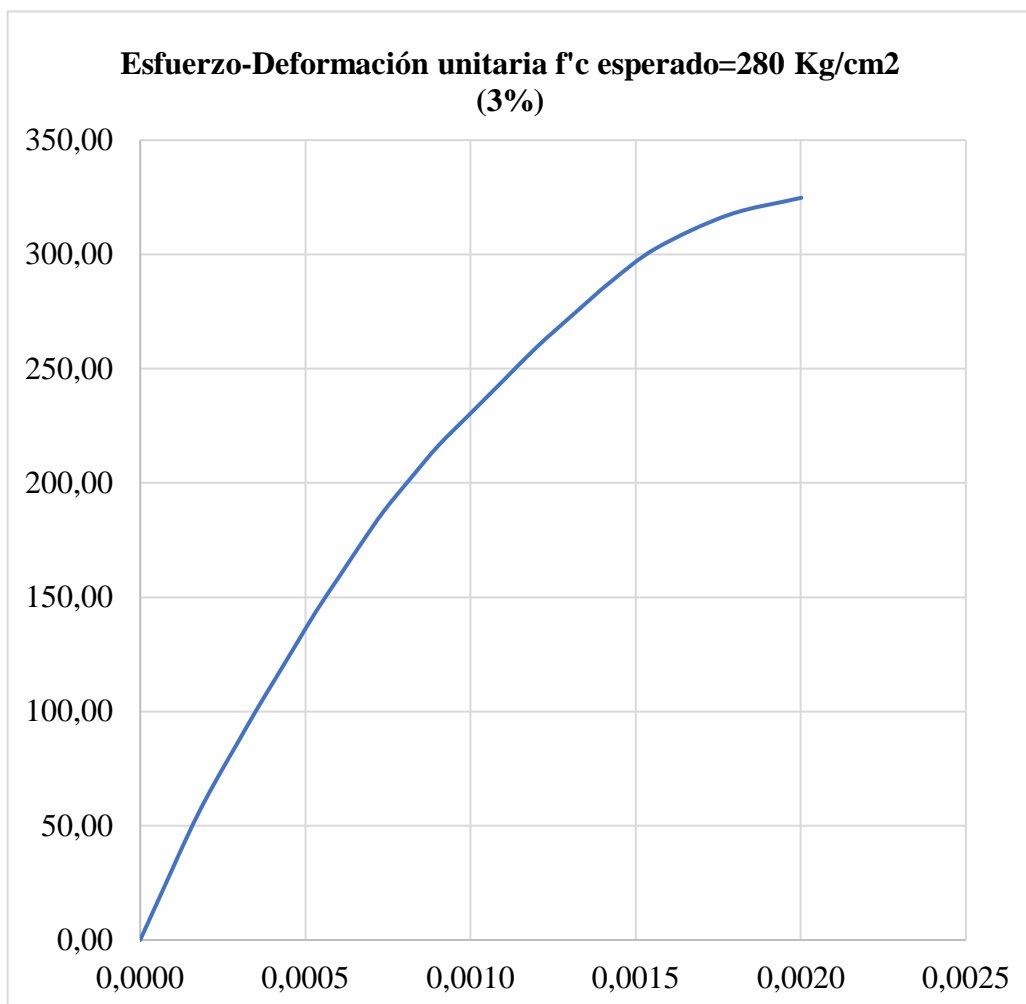
5.3.3.6 Muestra modificada con escamas 3% $f'c=280 \text{ Kg/cm}^2$ (28 días de edad)

Tabla 5-44 Muestra modificada con escamas 3% $f'c=280 \text{ Kg/cm}^2$ (28 días de edad)

Obra:	Tesis	Ensayado por:	Gualle Carlos; Guayasamín Debbie
Esfuerzo esperado:	280Kg/cm ²	Calculado por:	Gualle Carlos; Guayasamín Debbie
Edad:	28 días	Aprobado por:	Geosoil Cía. Ltda.
% escamas:	3%	Fecha:	8/4/2022

Esfuerzo	Deformación Unitaria
Kg/cm ²	mm/mm
0,00	0,00000000
14,42	0,00004529
28,84	0,00009058
43,26	0,00013587
57,68	0,00018418
72,11	0,00023853
86,53	0,00029590
100,95	0,00035327
115,37	0,00041366
129,79	0,00047404
144,21	0,00053443
158,63	0,00060086
173,05	0,00066728
187,47	0,00073673
201,90	0,00081825
216,32	0,00090280
230,74	0,00100244
245,16	0,00110208
259,58	0,00120172
274,00	0,00131343
288,42	0,00142817
302,84	0,00156404
317,26	0,00178144
324,79	0,00200185

Fuente: Propia

Ilustración 5-18 Esfuerzo-Deformación unitaria $f'_c=280 \text{ Kg/cm}^2$ (3%)

Fuente: Propia

Tabla 5-45 Resultado módulo de elasticidad $f'_c=280 \text{ Kg/cm}^2$ (3%)

Peso unitario (Ton/m³)	2,26
F'c (Kg/cm²)	324,79
Ecm (Kg/cm²)	268662,3
α	14908

Fuente: Propia

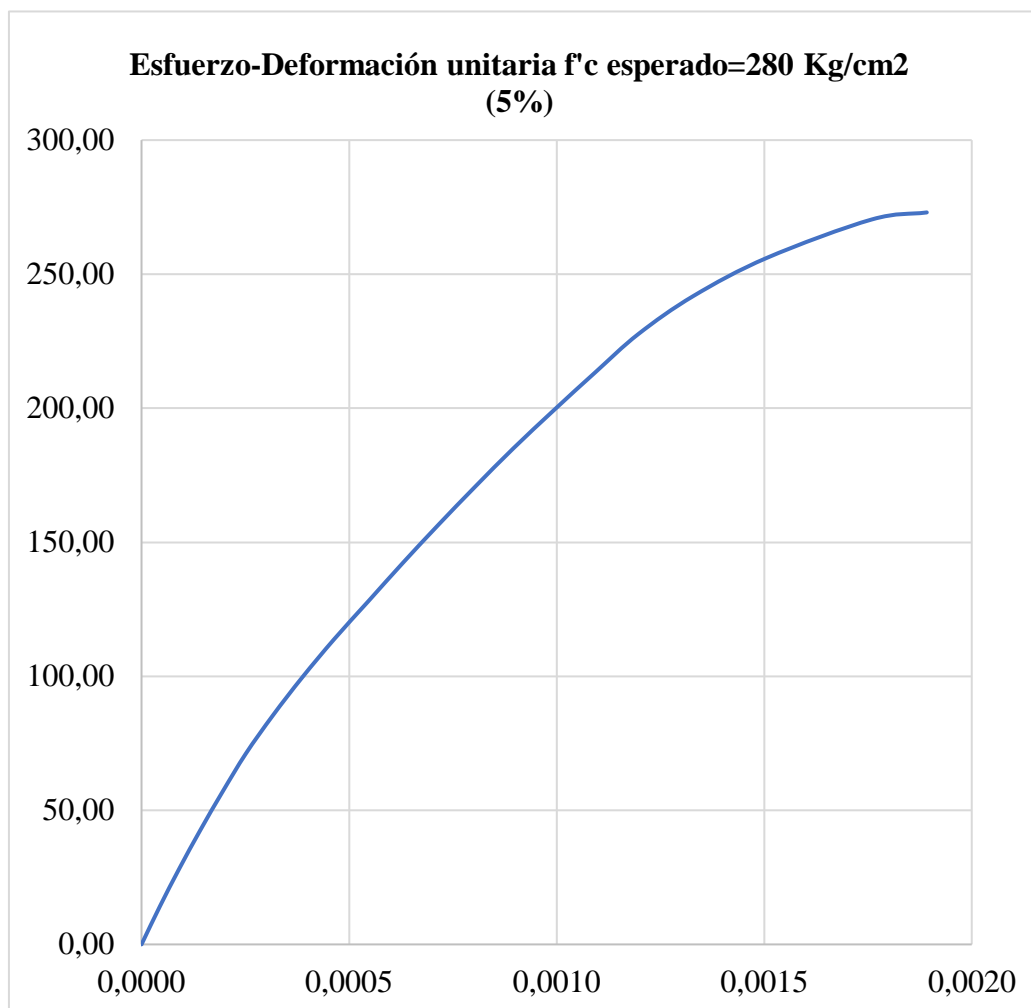
5.3.3.7 Muestra modificada con escamas 5% $f'c=280$ Kg/cm² (28 días de edad)

Tabla 5-46 Muestra modificada con escamas 5% $f'c=280$ Kg/cm² (28 días de edad)

Obra:	Tesis	Ensayado por:	Gualle Carlos; Guayasamín Debbie
Esfuerzo esperado:	280Kg/cm ²	Calculado por:	Gualle Carlos; Guayasamín Debbie
Edad:	28 días	Aprobado por:	Geosoil Cía. Ltda.
% escamas:	5%	Fecha:	8/4/2022

Esfuerzo	Deformación Unitaria
Kg/cm ²	mm/mm
0,00	0,00000000
14,23	0,00004434
28,46	0,00009163
42,69	0,00014188
56,92	0,00019508
71,15	0,00025124
85,38	0,00031627
99,62	0,00038721
113,85	0,00046406
128,08	0,00054682
142,31	0,00062958
156,54	0,00071530
170,77	0,00080398
185,00	0,00089560
199,23	0,00099315
213,46	0,00109364
227,69	0,00119710
241,92	0,00133011
256,15	0,00150745
270,38	0,00175870
273,03	0,00189171

Fuente: Propia

Ilustración 5-19 Esfuerzo-Deformación unitaria $f'_c=280 \text{ Kg/cm}^2$ (5%)

Fuente: Propia

Tabla 5-47 Resultado módulo de elasticidad $f'_c=280 \text{ Kg/cm}^2$ (5%)

Peso unitario (Ton/m³)	2,17
F'c (Kg/cm²)	273,03
Ecm (Kg/cm²)	239914,06
α	14519

Fuente: Propia

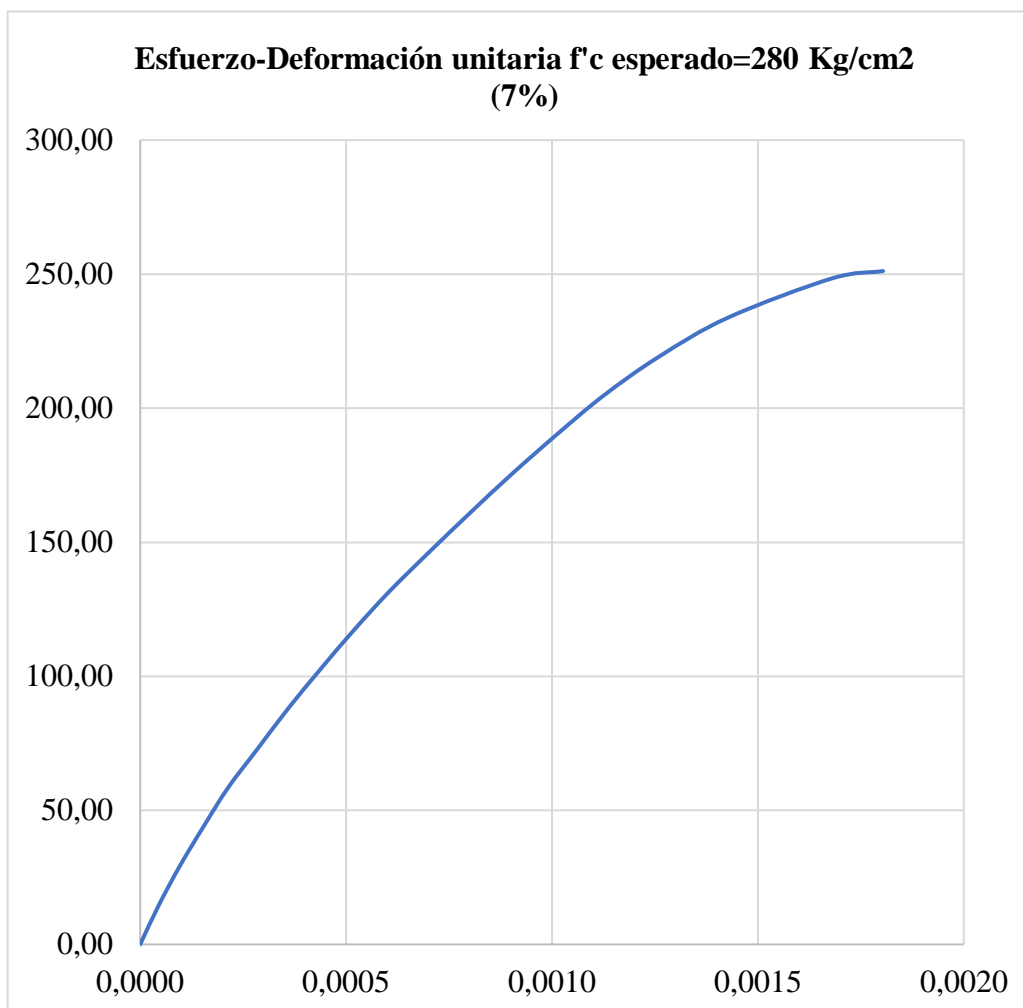
5.3.3.8 Muestra modificada con escamas 7% $f'c=280 \text{ Kg/cm}^2$ (28 días de edad)

Tabla 5-48 Muestra modificada con escamas 7% $f'c=280 \text{ Kg/cm}^2$ (28 días de edad)

Obra:	Tesis	Ensayado por:	Gualle Carlos; Guayasamín Debbie
Esfuerzo esperado:	280Kg/cm ²	Calculado por:	Gualle Carlos; Guayasamín Debbie
Edad:	28 días	Aprobado por:	Geosoil Cía. Ltda.
% escamas:	7%	Fecha:	8/4/2022

Esfuerzo	Deformación Unitaria
Kg/cm ²	mm/mm
0,00	0,00000000
14,62	0,00004510
29,23	0,00009622
43,85	0,00015335
58,46	0,00021349
73,08	0,00028565
87,69	0,00035782
102,31	0,00043599
116,92	0,00051718
131,54	0,00060438
146,15	0,00070060
160,77	0,00079983
175,38	0,00090206
190,00	0,00101031
204,61	0,00112457
219,23	0,00125988
233,85	0,00142826
248,46	0,00168084
251,16	0,00180412

Fuente: Propia

Ilustración 5-20 Esfuerzo-Deformación unitaria $f'_c=280 \text{ Kg/cm}^2$ (7%)

Fuente: Propia

Tabla 5-49 Resultado módulo de elasticidad $f'_c=280 \text{ Kg/cm}^2$ (7%)

Peso unitario (Ton/m³)	2,19
F'c (Kg/cm²)	251,16
Ecm (Kg/cm²)	224655,32
α	14176

Fuente: Propia

5.3.3.9 Resumen comparativo módulo de elasticidad

Ilustración 5-21 Resumen comparativo - Esfuerzo vs Deformación $f'_c=240 \text{ Kg/cm}^2$

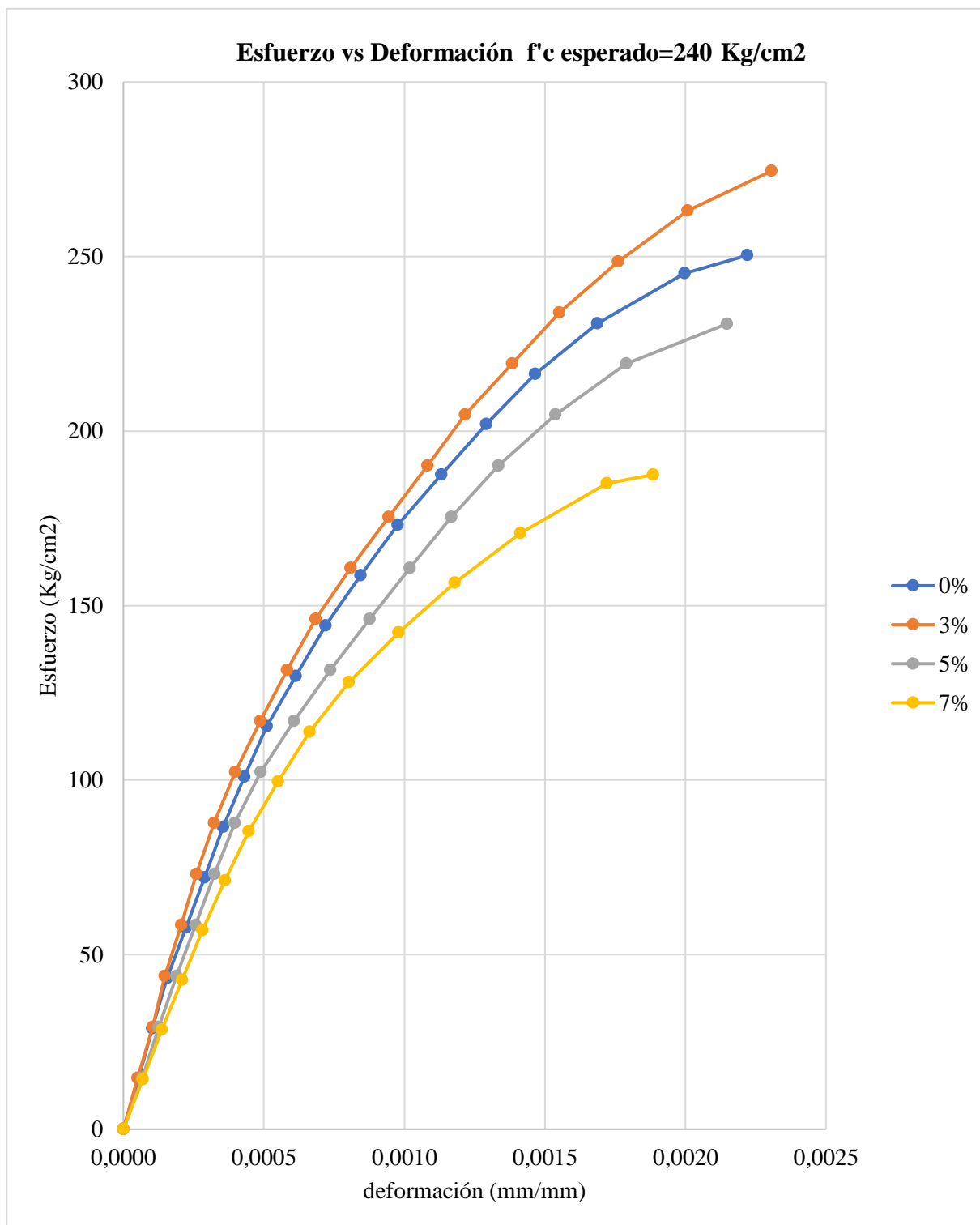
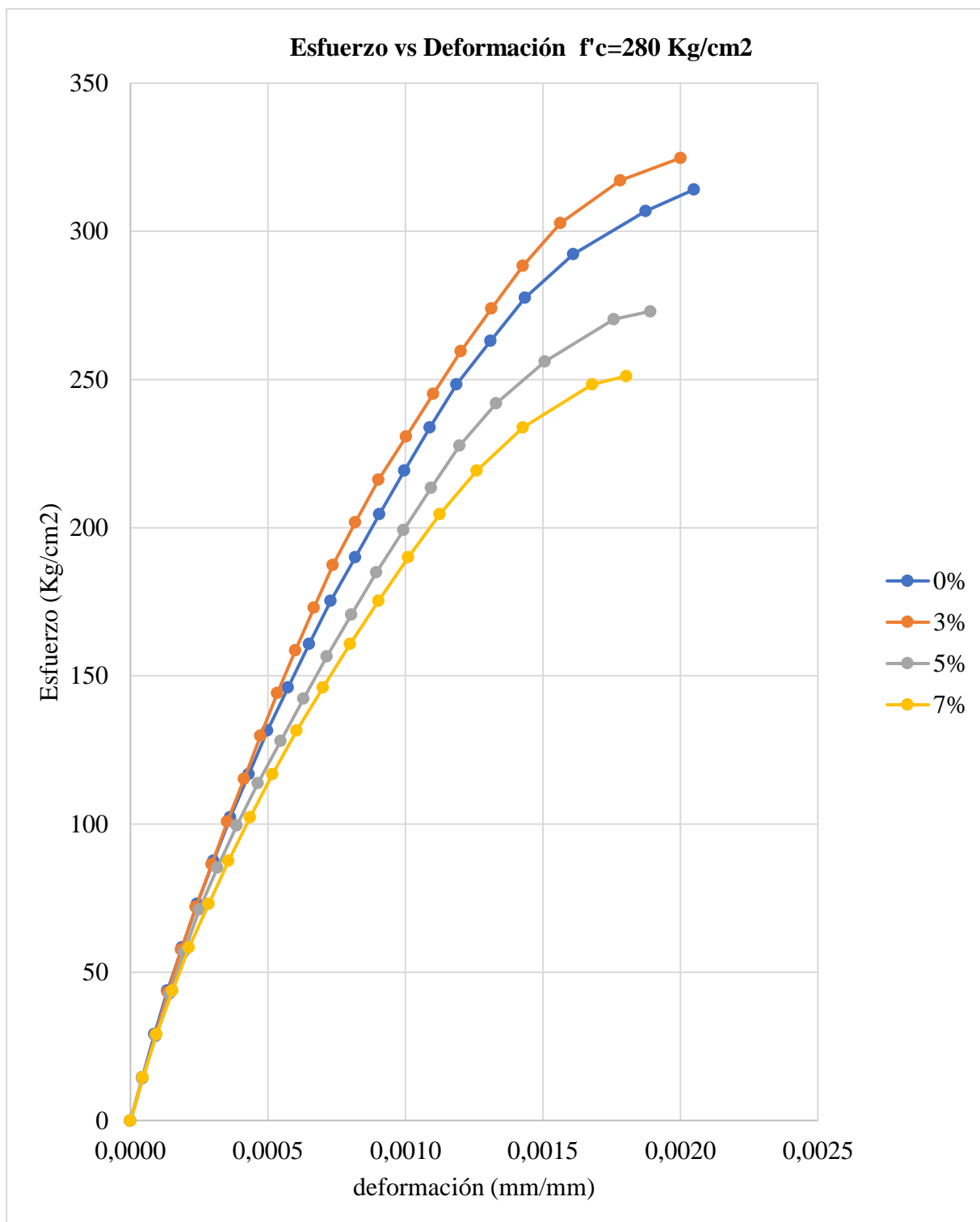


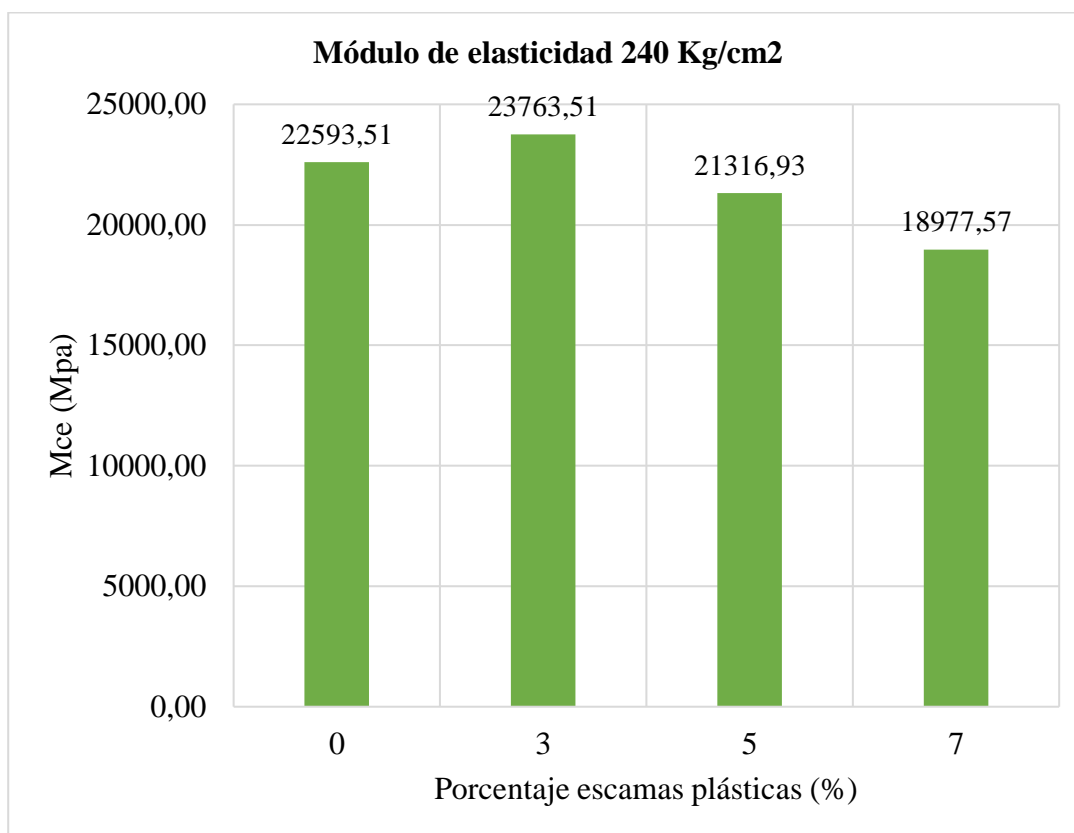
Ilustración 5-22 Resumen comparativo - Esfuerzo vs Deformación $f'c=280 \text{ Kg/cm}^2$ 

Fuente: Propia

Tabla 5-50 Resumen comparativo módulo de elasticidad $f'c = 240 \text{ kg/cm}^2$

Resumen comparativo módulo de elasticidad		
Resistencia $f'c$	Porcentaje escamas (%)	Módulo de elasticidad (Mpa)
240 kg/cm²	0	22593,51
	3	23763,51
	5	21316,93
	7	18977,57

Fuente: Propia

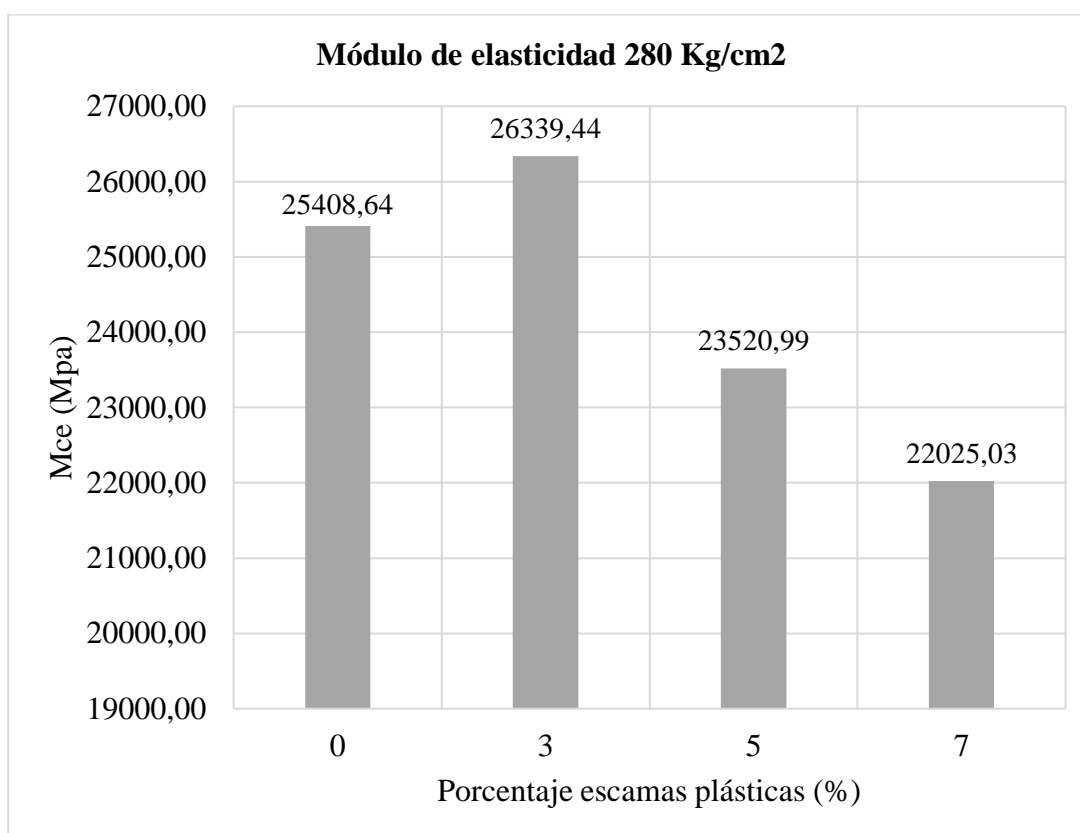
Ilustración 5-23 Módulo de elasticidad 240 Kg/cm²

Fuente: Propia

Tabla 5-51 Resumen comparativo módulo de elasticidad $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$

Resumen comparativo módulo de elasticidad		
Resistencia $f'c$	Porcentaje escamas (%)	Módulo de elasticidad (Mpa)
280 kg/cm²	0	25408,64
	3	26339,44
	5	23520,99
	7	22025,03

Fuente: Propia

Ilustración 5-24 Módulo de elasticidad 280 Kg/cm²

Fuente: Propia

6 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 Conclusiones

- Luego de realizar los ensayos a los agregados, podemos concluir que estos son aptos para la fabricación de hormigones, ya que cumplen con las especificaciones estipuladas por la Norma NTE INEN 872 (2011), a pesar de que algunos valores no cumplen con dichas especificaciones como son en el caso del agregado fino el equivalente de arena y material más fino que pasa el tamiz N° 200 (Ver tabla 6-1), esto no llega a afectar en alto grado la fabricación del hormigón ya que los valores obtenidos se encuentran cercanos a los límites normativos.

Tabla 6-1 Resumen de ensayo agregado fino

AGREGADO FINO				
PROPIEDADES	VALOR	UNIDAD	PARÁMETRO	OBSERVACIÓN
Material más fino que pasa el tamiz N°200	15,57	%	< 7%	No cumple
Equivalente de arena	82,42	%	≥ 90%	No cumple
Contenido orgánico	< 500	PPM	≤ 500	Cumple
Gravedad específica	2,49	-	N/A	N/A
Absorción	6	%	N/A	N/A
Peso unitario suelto	1340,9	kg/m ³	N/A	N/A
Peso unitario compactado	1557,4	kg/m ³	N/A	N/A
Desgaste a los sulfatos	6,18	%	≤ 10%	Cumple

Fuente: Propia

- De acuerdo con la Tabla 6-2, podemos observar que el agregado grueso obtenido de la Mina “Piedra Roja” de la parroquia de Pintag cumple con todas las especificaciones de la Norma NTE INEN 872 (2011) y es apto para su uso.

Tabla 6-2 Resumen de ensayo agregado grueso

AGREGADO GRUESO					
PROPIEDADES	VALOR		UNIDAD	PARÁMETRO	OBSERVACIÓN
Resistencia a la abrasión	28,27		%	$\leq 50 \%$	Cumple
Gravedad específica	2,46	2,45	-	N/A	N/A
Absorción	2,32	2,87	%	N/A	N/A
Peso unitario suelto	1306,33	2,45	kg/m ³	N/A	N/A
Peso unitario compactado	1424,5	1340,2	kg/m ³	N/A	N/A
Desgaste a los sulfatos	1,23		%	$\leq 12 \%$	Cumple

Fuente: Propia

En base al análisis realizado con los resultados que se obtuvieron en laboratorio mediante los ensayos de compresión de cilindros, flexión de viguetas y módulo de elasticidad a mezclas de hormigón con resistencias esperadas de 240 Kg/cm²; relación a/c= 0.497 y 280 Kg/cm²; relación a/c= 0.438 con reemplazo de escamas plásticas trituradas al agregado fino en 3,5 y 7 % respectivamente, en comparación con una mezcla sin alterar, se expone lo siguiente:

- Para un hormigón esperado de 240 kg/cm² con una relación agua/cemento de 0.497 se obtuvo una resistencia promedio de 256.30 kg/cm² y una resistencia característica de 246.53 kg/cm², valores aceptables ya que superan el diseño establecido. (Ver ilustración 5-3)
- El hormigón con relación agua cemento 0.497 con un porcentaje del 3% en reemplazo, muestra una ligera mejora en su resistencia característica a la compresión respecto al hormigón original de 246.53 kg/cm² a 250.04 kg/cm², representando un aumento de 1.42%, lo que mantiene estable su resistencia. (Ver ilustración 5-3 y 5-7)
- Las muestras con una relación a/c de 0.497 y 5% de escamas plásticas ensayadas a compresión disminuyó su resistencia característica a 220.16 kg/cm² lo que significa un decremento de 10.70% respecto al hormigón inalterado. (Ver ilustración 5-3 y 5-7)

- El hormigón con 7 % de escamas plásticas y relación a/c de 0.497, tuvo un decremento en su resistencia a compresión de 23.4% respecto al hormigón sin modificar ya que su resistencia característica decayó a 188.84 kg/cm². (Ver ilustración 5-3 y 5-7)
- En el hormigón esperado de 280 kg/cm² y cuya relación a/c es 0.438, se alcanzó una resistencia promedio de 298.84 kg/cm² y resistencia característica de 290.44 kg/cm², por lo que son resistencias válidas para nuestro objetivo de resistencia. (Ver ilustración 5-5)
- El hormigón con 3% de reemplazo de escamas y relación agua/cemento 0.438, presenta una mínima mejora en su resistencia característica a la compresión de 290.44 kg/cm² a 299.03 kg/cm², es decir aumenta en 2.96%, lo que significa que este porcentaje de reemplazo mantiene estable su resistencia. (Ver ilustración 5-5 y 5-8)
- Las muestras con relación a/c de 0.438 y 5% de escamas plásticas ensayadas a compresión disminuyeron su resistencia característica a 264.69 kg/cm² y resistencia promedio a 273.81 Kg/cm² lo que significa un decremento de 8.77% y 8.38% respectivamente. (Ver ilustración 5-5 y 5-8)
- En la mezcla con reemplazo de 7 % y de relación a/c de 0.438, su resistencia a compresión disminuyó 20.02% ya que su resistencia característica decayó a 232.28 kg/cm². (Ver ilustración 5-5 y 5-7)
- El hormigón de relación a/c 0.497 disminuye su resistencia a la compresión hasta 23.4 % mientras que el hormigón de relación a/c 0.438 disminuye hasta 20.02 %, lo que indica que, a mayor resistencia del hormigón, la mezcla asimila mejor a las escamas plásticas como muestra la gráfica (Ver ilustraciones 5-7 y 5-8).

- En los ensayos de flexión, el hormigón de relación a/c 0.497 aumenta su resistencia característica de 37.66 Kg/cm² a 39.26 Kg/cm² para el 3% de reemplazo lo que representa una mejora en 4.26% (Ver ilustración 5-9 y 5-11).
- En el 5% de reemplazo el hormigón de relación a/c 0.497 disminuye su resistencia característica a flexión en un 11.87 % en base al original, ya que esta baja hasta 33.19 Kg/cm² (Ver ilustración 5-9 y 5-11).
- La resistencia característica a flexión en el hormigón de relación a/c 0.497 y reemplazo del 7% de escamas plásticas disminuye hasta 28.74 Kg/cm² lo que significa que para este porcentaje baja su capacidad en 23.7% respecto al hormigón inalterado (Ver ilustración 5-9 y 5-11).
- El hormigón de relación a/c 0.438 aumenta su resistencia característica a flexión de 42.10 Kg/cm² a 44.59 Kg/cm² para el 3% de reemplazo lo que representa una mejora en 5.91% (Ver ilustración 5-10 y 5-12).
- Para el 5% de reemplazo el hormigón de relación a/c 0.438 disminuye su resistencia característica a flexión en un 10.08 % en base al original, ya que esta baja hasta 37.86 Kg/cm² (Ver ilustración 5-10 y 5-12).
- En el hormigón de relación a/c 0.438 con un reemplazo del 7% por escamas plásticas disminuye hasta 33.92 Kg/cm² lo que se traduce como una pérdida de capacidad del 19.44% respecto al hormigón inalterado (Ver ilustración 5-10 y 5-12).
- El aumentar el porcentaje de escamas plásticas añadidas a la mezcla de hormigón no altera su resistencia a flexión, como se observa en la Tabla 5-33, la resistencia a flexión en comparación a la compresión se mantiene en un rango cercano al 15% para el hormigón de relación

a/c 0.497 en todos sus porcentajes, mientras que para el de relación a/c 0.438 se mantiene cerca del 14% para todos sus porcentajes.

- El valor de alfa que se obtiene en el hormigón de relación a/c 0.497 y relación a/c 0.438 aumenta ligeramente para el 3% de reemplazo, y disminuye a medida que se agregan las tapas plásticas trituradas en 5 y 7%, lo que indica que a partir del 3% el hormigón en ambos casos empieza a ser más flexible (Ver tabla 6-3).

Tabla 6-3 Resumen comparativo módulo de elasticidad

Resumen comparativo módulo de elasticidad			
Relación a/c	Porcentaje escamas (%)	Módulo de elasticidad (kg/cm²)	α
0,497	0	230453,80	14566
	3	242387,80	14631
	5	217432,69	14316
	7	193571,21	14136
Relación a/c	Porcentaje escamas (%)	Módulo de elasticidad (kg/cm²)	α
0,438	0	259168,18	14622
	3	268662,30	14908
	5	239914,06	14519
	7	224655,32	14176

Fuente: Propia

6.2 Recomendaciones

- A pesar de que se obtuvieron mejoras para ambas resistencias con un porcentaje de 3 %, se recomienda realizar un estudio sobre reemplazos del 1 y 2 % ya que estas propiedades podrían tener resultados aun mejores, debido a que como podemos ver, el 3% es casi el límite donde su resistencia comienza a disminuir.
- Se recomienda además realizar un análisis en mezclas de hormigón armado para obtener más información sobre el comportamiento que puede tener las escamas plásticas con el

acero de refuerzo, ya que podrían existir cambios en su adherencia en comparación con un hormigón armado inalterado, lo que podría perjudicar su comportamiento.

- Se recomienda también realizar estudios con diferentes materiales como pueden ser agregados obtenidos de otra mina o cementos de diferentes marcas para conocer si estos pueden obtener mejores resultados.

7 BIBLIOGRAFÍA

- ASTM C127. (2015). Método de ensayo normalizado para determinar la densidad, la densidad relativa (gravedad específica), y la absorción de agregados gruesos.
- ASTM INTERNACIONAL. (2003). Método de ensayo normalizado para la determinación de la.
- ATM C136. (2019).
- Avellaneda, A. (Julio de 2019). Obtenido de RELACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN Y MÓDULO DE ROTURA:
<https://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/handle/10654/32457/avellaneda%20sanchezandreadelpilar2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Criollo, B. (2019). Diseño de explotación y cierre de mina de la Cantera Piedras Rojas. (*Tesis de ingeniería*). UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR, Quito.
- Hermida, É. (2011). *Polímeros*. Ciudad Autónoma de Buenos Aires: Ministerio de Educación - Instituto Nacional de Educación Tecnológica.
- Hurtado, J. (20 de Enero de 2014). DETERMINACIÓN DEL MÓDULO DE ROTURA EN VIGAS DE HORMIGÓN. Quito, Ecuador.
- INEC. (11 de 2019). *Información Ambiental en Hogares*. Obtenido de <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/hogares/>
- Kosmatka, S., & Kerkhoff, B. (2004). *Diseño y control de mezclas de concreto*.
Materiales de Construcción . (14 de Octubre de 2010). La Granulometria.
- RD San Juan. (20 de Enero de 2016). *San Juan Reciclados y Demoliciones*. Obtenido de <https://www.rdsanjuan.com/conoces-cuales-son-los-residuos-inorganicos/>
- Romero, M. (2006). Instalaciones hidrosanitarias con tubería de polipropileno. *ARTE Y CEMENTO*, 64-67.

- Romero, A., & Hernández, J. (2014). Diseño de mezclas de hormigón por el método A.C.I. y efectos de la adición de cenizas volantes de termotasajero en la resistencia a la compresión. (*Tesis de Ingeniería*). Universidad Santo Tomás, Bogotá.
- SMV. (6 de Agosto de 2019). *Servicios Medioambientales de Valencia*. Obtenido de <https://www.smv.es/que-son-residuos-inorganicos/#:~:text=El%20significado%20de%20residuos%20inorg%C3%A1nicos,cuyo%20origen%20no%20es%20biol%C3%B3gico.&text=Los%20residuos%20inorg%C3%A1nicos%20tardan%20mucho,mayor%20de%20los%20residuos%20org%C3%A1ni>
- spg. (25 de 10 de 2018). *Spg-pack.com*. Obtenido de 5 Diferencias entre envases de polipropileno y de polietileno: <https://www.spg-pack.com/blog/5-diferencias-entre-envases-alimentarios-de-polipropileno-y-de-polietileno/>
- Celi, M. d. (2013). Análisis del sistema constrictivo con botellas recicladas PET, y su aplicación en el diseño de un centro de exposición y capacitación para la Planta de Reciclaje de la ciudad de Loja (Tesis de pregrado). Universidad Técnica Particular de Loja, Quito.
- Chávez, S. F., & Aulestia, S. A. (2017). Comparación de propiedades y características mecánicas entre una mezcla asfáltica en caliente normal y una mezcla asfáltica en caliente modificada con polímeros (tapas plásticas de botellas) por vía seca (Tesis de pregrado). Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Quito.
- Espinosa, R. (12 de agosto de 2019). *Reciclar Plástico: ¿Por qué es Muy importante? [Ventajas y Usos]*. Energía Today. Recuperado de: <https://energiatoday.com/reciclar/plastico/>

Gómez, F., Huaman, M. & Meza, Q. (2015). *Concreto simple construcciones*. Slideshare.

Recuperado de <https://www.slideshare.net/JuanitaDionisioGonzales/concreto-simple-construcciones>

Mehta, P. K. (Octubre de 2001). *La reducción del impacto ambiental del hormigón*. Concrete International. Recuperado de:

<http://www.actualizarmiweb.com/sites/icpa/publico/Tapas%20Editoriales/DOCUME>

Quinapallo, L. & Checa, M. (2020). Análisis de las características físico mecánicas del hormigón con la adición de polvo de neumático reciclado con cemento Holcim y mina de Pifo (Tesis de pregrado). Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Quito.

Rivas, M. (16 de Julio de 2019). *La crisis de la contaminación plástica*. Ciudad de México: Heinrich-Böll-Stiftung. Recuperado de https://mx.boell.org/es/2019/07/16/la-crisis-de-la-contaminacion-plastica#_ftn2

American Society for Testing Materials. C136/C136M – 14: *Standard Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates*. Pensilvania, ASTM, 2014.

American Society for Testing Materials. C117 – 13: *Standard Test Method for Materials Finer than 75-um (No.200) Sieve in Mineral Aggregates by Washing*. Pensilvania, ASTM, 2009.

American Society for Testing Materials. C127 – 15: *Standard Test Method for Relative Density (Specific Gravity) and Absorption of Coarse Aggregate*. Pensilvania, ASTM, 2015.

American Society for Testing Materials. C128 – 15: *Standard Test Method for Relative Density (Specific Gravity) and Absorption of Fine Aggregate*. Pensilvania, ASTM, 2015.

American Society for Testing Materials. C29/C29M – 09: *Standard Test Method for Bulk Density (“Unit Weight”) and Voids in Aggregate*. Pensilvania, ASTM, 2009.

American Society for Testing Materials. C39/C39M – 15a: *Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Specimens*. Pensilvania, ASTM, 2015.

American Society for Testing Materials. C40/C40M – 11: *Standard Test Method for Organic Impurities in Fine Aggregates for Concrete*. Pensilvania, ASTM, 2011

American Society for Testing Materials. C131/C131M – 14: *Standard Test Method for Resistance to Degradation of Small-Size Coarse Aggregate by Abrasion and Impact in the Los Angeles Machine*. Pensilvania, ASTM, 2014.

American Society for Testing Materials. C88 – 13: *Standard Test Method for Soundness of Aggregates by Use of Sodium Sulfate or Magnesium Sulfate*. Pensilvania, ASTM, 2013.

American Society for Testing Materials. C188 – 14: *Standard Test Method for Density of Hydraulic Cement*. Pensilvania, ASTM, 2014.

8 ANEXOS



TOPOGRAFIA - GEOLOGIA - GEOTECNIA - GEOFISICA
LABORATORIO DE SUELOS, HORMIGONES Y ASFALTOS

ÁREA DE RESISTENCIA DE MATERIALES
HOJA DE CAMPO:

DETERMINACIÓN DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN EN PROBETAS CILÍNDRICAS DE HORMIGÓN -
Superficies de Carga Pulidas o Sin Refrentar

ORDEN DE TRABAJO N°:

Probeta N°									
Identificación	1	2	3	4	5	6			
Descripción									
Resistencia de diseño esperada a los 28 días MPa <input type="checkbox"/> Kg/cm ² <input checked="" type="checkbox"/>									
Fecha de fabricación (día/mes/año)	10/03/22	10/03/22	10/03/22	10/03/22	10/03/22	10/03/22			
Fecha de ensayo (día/mes/año)	07/04/22	07/04/22	07/04/22	07/04/22	07/04/22	07/04/22			
Desviación de la Superficie de Carga (mm)									
Desviación al eje Transversal de la probeta(mm/100mm)									
Desviación al eje Longitudinal de la probeta(mm/100mm)									
Diámetro 1 (mm)	151	150	151	150	150	150			
Diámetro 2 (mm)	150	151	151	151	151	150			
Altura 1 (mm)	301	299	299	299	300	300			
Altura 2 (mm)	302	298	300	298	300	300			
Altura 3 (mm)	301	297	299	300	301	300			
Masa (Kg)	11,8	11,6	11,8	11,6	11,8	11,8			
Hora de ensayo (hh:mm)									
Carga máxima (Kg)	432980	460180	451170	463250	433960	442140			
Tipo de falla	V	V	V	V	V	V			

OBSERVACIONES
0%

FIRMAS RESPONSABLES DE FISCALIZACIÓN DE ENSAYO		
FECHA	NOMBRE Y APELLIDO	I

FIRMAS DE RESPONSABILIDAD

PREPARA								
ENSAYA								
INFORME								



ÁREA DE RESISTENCIA DE MATERIALES
 HOJA DE CAMPO:
 DETERMINACIÓN DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN EN PROBETAS CILÍNDRICAS DE HORMIGÓN -
 Superficies de Carga Pulidas o Sin Refrentar

ORDEN DE TRABAJO N°:

--

Probeta N°										
Identificación	13	14	15	16	17	18				
Descripción										
Resistencia de diseño esperada a los 28 días MPa <input type="checkbox"/> Kg/cm2 <input type="checkbox"/>										
Fecha de fabricación (día/mes/año)	10/3/22	10/3/22	10/3/22	10/3/22	10/3/22	10/3/22				
Fecha de ensayo (día/mes/año)	7/4/22	7/4/22	7/4/22	7/4/22	7/4/22	7/4/22				
Desviación de la Superficie de Carga (mm)										
Desviación al eje Transversal de la probeta(mm/100mm)										
Desviación al eje Longitudinal de la probeta(mm/100mm)										
Diámetro 1 (mm)	152	150	150	150	150	151				
Diámetro 2 (mm)	151	149	151	151	150	150				
Altura 1 (mm)	304	305	300	302	303	304				
Altura 2 (mm)	304	305	300	301	303	304				
Altura 3 (mm)	303	304	300	302	302	303				
Masa (Kg)	11,9	11,7	11,8	11,7	11,8	11,8				
Hora de ensayo (hh:mm)										
Carga máxima (KN)	394600	407570	388410	404600	398520	389890				
Tipo de falla	U	U	U	U	U	U				

OBSERVACIONES
5/.

FIRMAS RESPONSABLES DE FISCALIZACIÓN DE ENSAYC		
FECHA	NOMBRE Y APELLIDO	I

FIRMAS DE RESPONSABILIDAD

PREPARA
ENSAYA
INFORME



ÁREA DE RESISTENCIA DE MATERIALES

HOJA DE CAMPO:

DETERMINACIÓN DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN EN PROBETAS CILÍNDRICAS DE HORMIGÓN -

Superficies de Carga Pulidas o Sin Refrentar

ORDEN DE TRABAJO N°:

--

Probeta N°									
Identificación	19	20	21	22	23	24			
Descripción									
Resistencia de diseño esperada a los 28 días MPa <input type="checkbox"/> Kg/cm2 <input type="checkbox"/>									
Fecha de fabricación (día/mes/año)	10/3/22	10/3/22	10/3/22	10/3/22	10/3/22	10/3/22			
Fecha de ensayo (día/mes/año)	7/4/22	7/4/22	7/4/22	7/4/22	7/4/22	7/4/22			
Desviación de la Superficie de Carga (mm)									
Desviación al eje Transversal de la probeta(mm/100mm)									
Desviación al eje Longitudinal de la probeta(mm/100mm)									
Diámetro 1 (mm)	152	152	151	151	150	151			
Diámetro 2 (mm)	151	152	150	151	150	152			
Altura 1 (mm)	302	303	302	301	302	299			
Altura 2 (mm)	301	302	303	300	301	299			
Altura 3 (mm)	301	302	302	301	301	298			
Masa (Kg)	11,5	11,5	11,5	11,3	11,4	11,2			
Hora de ensayo (hh:mm)									
Carga máxima (KN)	359390	329400	341590	363300	351460	359860			
Tipo de falla	V	V	V	V	V	V			

OBSERVACIONES
7%

FIRMAS RESPONSABLES DE FISCALIZACIÓN DE ENSAYC		
FECHA	NOMBRE Y APELLIDO	1

FIRMAS DE RESPONSABILIDAD

PREPARA
ENSAYA
INFORME



TOPOGRAFIA - GEOLOGIA - GEOTECNIA - GEOFISICA
LABORATORIO DE SUELOS, HORMIGONES Y ASFALTOS

RESISTENCIA A LA FLEXIÓN DE VIGAS

N° de orden _____

Muestra N°	49	50	51	52								
Fecha de fabricación	10/3/22	10/3/22	10/3/22	10/3/22								
Fecha de Ensayo	7/4/22	7/4/22	7/4/22	7/4/22								
Identificación												
Longitud (mm)	543	535	542	540								
Ancho (mm)	153	152	152	152								
Altura (mm)	150	152	151	151								
Longitud de apoyo (mm)	450	450	450	450								
Masa (gr)	2711	2712	2713	2712								
Carga Máxima (N)	28890	29010	30160	30350								

0%



TOPOGRAFIA - GEOLOGIA - GEOTECNIA - GEOFISICA
LABORATORIO DE SUELOS, HORMIGONES Y ASFALTOS

RESISTENCIA A LA FLEXIÓN DE VIGAS

N° de orden _____

Muestra N°	53	54	55	56								
Fecha de fabricación	10/3/22	10/3/22	10/3/22	10/3/22								
Fecha de Ensayo	7/4/22	7/4/22	7/4/22	7/4/22								
Identificación												
Longitud (mm)	545	540	541	542								
Ancho (mm)	151	152	151	151								
Altura (mm)	150	150	152	151								
Longitud de apoyo (mm)	450	450	450	450								
Masa (gr)	26,1	26,1	26,8	26,3								
Carga Máxima (N)	29770	29300	31390	31180								

3%



TOPOGRAFIA - GEOLOGIA - GEOTECNIA - GEOFISICA
LABORATORIO DE SUELOS, HORMIGONES Y ASFALTOS

RESISTENCIA A LA FLEXIÓN DE VIGAS

N° de orden _____

Muestra N°	57	58	59	60								
Fecha de fabricación	10/3/22	10/3/22	10/3/22	10/3/22								
Fecha de Ensayo	7/4/22	7/4/22	7/4/22	7/4/22								
Identificación												
Longitud (mm)	537	541	540	539								
Ancho (mm)	153	152	152	152								
Altura (mm)	150	152	151	151								
Longitud de apoyo (mm)	450	450	450	450								
Masa (gr)	27,1	27,2	27,3	27,2								
Carga Máxima (N)	28720	27420	25090	28080								

5%

GEOSOIL

Cía. Ltda.

TOPOGRAFIA - GEOLOGIA - GEOTECNIA - GEOFISICA
LABORATORIO DE SUELOS, HORMIGONES Y ASFALTOS

RESISTENCIA A LA FLEXIÓN DE VIGAS

N° de orden _____

Muestra N°	61	62	63	64									
Fecha de fabricación	10/3/22	10/3/22	10/3/22	10/3/22									
Fecha de Ensayo	7/4/22	7/4/22	7/4/22	7/4/22									
Identificación													
Longitud (mm)	538	540	537	538									
Ancho (mm)	150	150	150	150									
Altura (mm)	150	152	149	150									
Longitud de apoyo (mm)	450	450	450	450									
Masa (gr)	25,7	26,2	25,5	25,8									
Carga Máxima (N)	21110	23380	21930	23140									

7/.



TOPOGRAFIA - GEOLOGIA - GEOTECNIA - GEOFISICA
LABORATORIO DE SUELOS, HORMIGONES Y ASFALTOS

ÁREA DE RESISTENCIA DE MATERIALES
HOJA DE CAMPO:
DETERMINACIÓN DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN EN PROBETAS CILÍNDRICAS DE HORMIGÓN -
Superficies de Carga Pulidas o Sin Refrentar

ORDEN DE TRABAJO N°:

--

Probeta N°									
Identificación	25	26	27	28	29	30			
Descripción									
Resistencia de diseño esperada a los 28 días MPa <input type="checkbox"/> Kg/cm ² <input type="checkbox"/>									
Fecha de fabricación (día/mes/año)	11/3/22	11/3/22	11/3/22	11/3/22	11/3/22	11/3/22			
Fecha de ensayo (día/mes/año)	8/4/22	8/4/22	8/4/22	8/4/22	8/4/22	8/4/22			
Desviación de la Superficie de Carga (mm)									
Desviación al eje Transversal de la probeta(mm/100mm)									
Desviación al eje Longitudinal de la probeta(mm/100mm)									
Diámetro 1 (mm)	151	152	150	151	151	152			
Diámetro 2 (mm)	151	150	152	151	152	152			
Altura 1 (mm)	300	304	302	304	306	304			
Altura 2 (mm)	302	305	300	299	304	304			
Altura 3 (mm)	300	301	302	300	300	302			
Masa (Kg)	11,9	12	12,1	12	12,1	11,9			
Hora de ensayo (hh:mm)									
Carga máxima (KN)	542270	531220	528450	517360	521230	519670			
Tipo de falla	V	V	V	V	V	V			

OBSERVACIONES
<p>0,6 $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$</p>

FIRMAS RESPONSABLES DE FISCALIZACIÓN DE ENSAYOS		
FECHA	NOMBRE Y APELLIDO	FIRMA

FIRMAS DE RESPONSABILIDAD

PREPARA							
ENSAYA							
INFORME							



ÁREA DE RESISTENCIA DE MATERIALES
 HOJA DE CAMPO:
 DETERMINACIÓN DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN EN PROBETAS CILÍNDRICAS DE HORMIGÓN -
 Superficies de Carga Pulidas o Sin Refrentar

ORDEN DE TRABAJO N°:

--

Probeta N°									
Identificación	37	38	39	40	41	42			
Descripción									
Resistencia de diseño esperada a los 28 días MPa <input type="checkbox"/> Kg/cm ² <input type="checkbox"/>									
Fecha de fabricación (día/mes/año)	11/3/22	11/3/22	11/3/22	11/3/22	11/3/22	11/3/22			
Fecha de ensayo (día/mes/año)	8/4/22	8/4/22	8/4/22	8/4/22	8/4/22	8/4/22			
Desviación de la Superficie de Carga (mm)									
Desviación al eje Transversal de la probeta(mm/100mm)									
Desviación al eje Longitudinal de la probeta(mm/100mm)									
Diámetro 1 (mm)	152	151	151	151	150	152			
Diámetro 2 (mm)	151	152	150	151	151	152			
Altura 1 (mm)	301	300	300	302	301	301			
Altura 2 (mm)	299	300	301	300	300	302			
Altura 3 (mm)	300	301	302	300	300	302			
Masa (Kg)	11,66	11,77	11,78	11,8	11,7	11,9			
Hora de ensayo (hh:mm)									
Carga máxima (KN)	465210	477110	492500	486580	479650	491200			
Tipo de falla	V	V	V	V	V	V			

OBSERVACIONES
5% $f_c = 290 \text{ kg/cm}^2$

FIRMAS RESPONSABLES DE FISCALIZACIÓN DE ENSAYOS		
FECHA	NOMBRE Y APELLIDO	FIRMA

FIRMAS DE RESPONSABILIDAD

PREPARA									
ENSAYA									
INFORME									

GEOSOIL

Cia. Ltda.

TOPOGRAFIA - GEOLOGIA - GEOTECNIA - GEOFISICA
LABORATORIO DE SUELOS, HORMIGONES Y ASFALTOS

RESISTENCIA A LA FLEXIÓN DE VIGAS

N° de orden _____

Muestra N°	65	66	67	68									
Fecha de fabricación	11/3/22	11/3/22	11/3/22	11/3/22									
Fecha de Ensayo	8/4/22	8/4/22	8/4/22	8/4/22									
Identificación													
Longitud (mm)	542	540	535	539									
Ancho (mm)	151	150	151	151									
Altura (mm)	151	152	160	151									
Longitud de apoyo (mm)	450	450	450	450									
Masa (gr)	26,8	25,4	25,6	25,9									
Carga Máxima (N)	33010	32100	34680	35260									

0%

GEOSOIL

Cia. Ltda.

TOPOGRAFIA - GEOLOGIA - GEOTECNIA - GEOFISICA
LABORATORIO DE SUELOS, HORMIGONES Y ASFALTOS

RESISTENCIA A LA FLEXIÓN DE VIGAS

N° de orden _____

Muestra N°	69	70	71	72								
Fecha de fabricación	11/3/22	11/3/22	11/3/22	11/3/22								
Fecha de Ensayo	8/4/22	8/4/22	8/4/22	8/4/22								
Identificación												
Longitud (mm)	539	536	544	540								
Ancho (mm)	130	150	150	150								
Altura (mm)	150	150	150	150								
Longitud de apoyo (mm)	450	450	450	450								
Masa (gr)	25.7	26.1	26.3	26.0								
Carga Máxima (N)	34530	32850	35100	36160								

3%

GEOSOL

Cfa. Ltda.

TOPOGRAFIA - GEOLOGIA - GEOTECNIA - GEOFISICA
LABORATORIO DE SUELOS, HORMIGONES Y ASFALTOS

RESISTENCIA A LA FLEXIÓN DE VIGAS

N° de orden _____

Muestra N°	73	74	75	76								
Fecha de fabricación	11/3/22	11/3/22	11/3/22	11/3/22								
Fecha de Ensayo	8/4/22	8/4/22	8/4/22	8/4/22								
Identificación												
Longitud (mm)	542	540	542	541								
Ancho (mm)	150	150	150	150								
Altura (mm)	150	153	150	151								
Longitud de apoyo (mm)	450	450	450	450								
Masa (gr)	26	26.5	26.2	26.2								
Carga Máxima (N)	28500	30910	28480	31300								

5%



TOPOGRAFIA - GEOLOGIA - GEOTECNIA - GEOFISICA
LABORATORIO DE SUELOS, HORMIGONES Y ASFALTOS

RESISTENCIA A LA FLEXIÓN DE VIGAS

N° de orden _____

Muestra N°	77	78	79	80								
Fecha de fabricación	11/3/22	11/3/22	11/3/22	11/3/22								
Fecha de Ensayo	8/4/22	8/4/22	8/4/22	8/4/22								
Identificación												
Longitud (mm)	540	535	537	537								
Ancho (mm)	150	151	150	150								
Altura (mm)	152	150	151	151								
Longitud de apoyo (mm)	450	450	450	450								
Masa (gr)	25,6	25,4	25,6	25,5								
Carga Máxima (N)	26200	27020	25910	28400								

7%